Aus der Poliklinik und Klinik für
Zahn-, Mund-und Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin

Direktor: Professor Dr. med., Dr.med.dent. E. H a r n d t

---

# Abschliff, Abrieb und Spanung an Zahnhartsubstanzen mit Bohrern und Schleifern bei unterschiedlicher Umdrehungszahl, Schnittgeschwindigkeit und variiertem Druck.

Dissertation zur Erlangung
der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der Medizinischen Fakultät der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Zahnarzt Artur Bohlmann

Berlin 1962

Druck:

ERNST-REUTER-GESELLSCHAFT
der Förderer und Freunde der Freien Universität Berlin e.V.

DISSERTATIONS-DRUCKSTELLE

1 Berlin 33, Garystr. 45

Aus der Poliklinik und Klinik für
Zahn-, Mund-und Kieferkrankheiten der Freien Universität Berlin
Direktor: Professor Dr. med., Dr.med.dent. E. H a r n d t

---

# Abschliff, Abrieb und Spanung an Zahnhartsubstanzen mit Bohrern und Schleifern bei unterschiedlicher Umdrehungszahl, Schnittgeschwindigkeit und variiertem Druck.

Dissertation zur Erlangung
der zahnmedizinischen Doktorwürde
an der Medizinischen Fakultät der
Freien Universität Berlin

vorgelegt von
Zahnarzt Artur Bohlmann

Berlin 1962

Dekan: Professor Dr.med., Dr.med.dent. E. H a r n d t
Referent: Professor Dr.med., Dr.med.dent. E. H a r n d t
Korreferent: Priv.-Doz.Dr.med. dent. K. E i c h n e r

UNIVERSITEITSBIBLIOTHEEK - LEIDEN -

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Freien Universität Berlin

Promoviert am: 10. 5. 1962

# Inhaltsverzeichnis


| | Seite |
|---|---|
| Einleitung | 3 |
| 1. Erläuterung des Themas | |
| 1a Definition der Begriffe | 3 |
| 1b Warum soll die Umdrehungszahl erhöht werden? | 6 |
| 1c Welches Ergebnis ist zu erwarten? | 9 |
| 2. Literaturstudium | |
| 2a Allgemeine technische Literatur | 9 |
| 2b Zahnmedizinische Literatur | 17 |
| 3. Eigene Versuche | |
| 3a Aufgabenstellung | 20 |
| 3b Versuchsanordnung | 21 |
| 3c Sechs Versuchsreihen | |
| 1. Versuchsreihe | 27 |
| In jeder Versuchsreihe: | |
| I. Besondere Bedingungen des Versuches | |
| II. Messungen | |
| III. Diskussion | |
| IV. Abbildungen | |
| 2. Versuchsreihe | 40 |
| 3. Versuchsreihe | 50 |
| 4. Versuchsreihe | 65 |
| 5. Versuchsreihe | 75 |
| 6. Versuchsreihe | 88 |
| Einzelversuche | 93 |
| (13 Versuche mit Diskussion und Abbildungen) | |
| 4. Zusammenfassung | 105 |
| 5. Tabellen zu den sechs Versuchsreihen | 109 |
| 6. Literaturverzeichnis | 115 |
| 7. Danksagung | 119 |
| 8. Lebenslauf | 120 |

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546826_0077

## Einleitung

In den letzten Jahren hat sich in der Zahnheilkunde das hoch-und höchsttourige Bohren und Schleifen mehr und mehr eingeführt. Die Entwicklung wurde in den U.S.A. eingeleitet, mit dem Ziel, den Patienten von unangenehmen Vibrationen, die beim Bohren und Schleifen auftreten, zu befreien. In der Erhöhung der Drehzahl, die bei zahnärztlichen Bohrmaschinen maximal 6 000 U/min nicht überschritten hatte, sah man das Mittel der Wahl. Verschiedene Wege wurden beschritten, um den Bohrern und Schleifern höhere Umdrehungen zu vermitteln:

1. Übersetzungen innerhalb des Doriotgestänges,
2. Übersetzungen innerhalb des Handstückes und
3. Änderung des Antriebprinzipes von der Bohrmaschine auf luftgetriebene Turbinen, in denen die Instrumente befestigt werden.

Diese verschiedenen Instrumente und Geräte haben seit etwa 1956 auch in Deutschland in zahnärztlichen Praxen Eingang gefunden. In Zusammenhang mit ihrer Anwendung traten viele Fragen auf, die einer wissenschaftlichen Klärung bedürfen. Im Rahmen einer größeren Untersuchung ist es Ziel dieser Arbeit, die Produkte des Bohrens und Schleifens an Zahnhartsubstanzen zu untersuchen und nach Möglichkeit Bohren und Schleifen in bezug auf die Art des Abriebs oder Abschliffs zu definieren.

## 1. Erläuterung des Themas

### 1a. Definition der Begriffe

Abschliff und Abrieb bilden als Produkt des Schleifvorganges die Späne. Abschliff und Abrieb stehen nicht im Gegensatz zueinander. Jeder Schleifvorgang umfaßt beide Begriffe, wobei der Abschliff mit Spanerzeugung gleichzusetzen ist und der Abrieb zu einem Reibevorgang gehört, der durch übermässi-

gen Druck und ein sehr kleines Korn des Schleifers erzeugt wird "Unter Schleifen versteht man die Erzeugung oder Fertigstellung von ebenen oder gekrümmten Flächen durch gleichzeitiges Abtrennen feiner Späne von einem Werkstück mittels einer Vielheit von verhältnismäßig kleinen, scharfen Schneidekanten oder Schneidespitzen, die sich an dem Schleifkorn befinden." ( K l e i n s c h m i d t - 22). Diese für das industrielle Schleifen gegebene Definition ist auch ohne Einschränkung für das zahnärztliche Schleifen gültig.

Als Schleifwerkzeug hat der diamentierte Schleifer seine Überlegenheit gegenüber Karborund-und Siliziumkarbidsteinen bewiesen und sich in der zahnärztlichen Praxis allgemein durchgesetzt. In zahnärztlichen Laboratorien wird der Diamantschleifer aus finanziellen Gründen nicht benutzt.

In bezug auf Abschliffmenge bei sonst gleichen Schleifbedingungen hat D r a c h e (8) schon 1936 die Überlegenheit des Diamanten gegenüber Karborundschleifern in Versuchsreihen nachgewiesen. Die Leistung des Diamanten auf Schmelz ist 3,47 bzw. bei einem anderen Schleifmittel B 2,85 mal größer. Im Folgenden ist unter Schleifen nur die Bearbeitung mit elektrolytisch gebundenen Diamantwerkzeugen gemeint.

Die Spanung ist ein spanabhebender Vorgang mittels scharfschneidiger Werkzeuge. Auch dieser Begriff liegt in der allgemeinen Technik fest. Die Spanungslehre ist ein fest umgrenztes, gut erforschtes Gebiet. Jedoch lassen sich nicht alle Erkenntnisse auf das zahnärztliche Gebiet übertragen. Spanabhebende Werkzeuge auf unserem Gebiet sind Bohrer, Fräsen, Diamantschleifer und Karborundsteine.

Menschliche Zahnhartsubstanzen, die einem Schleif- und Spanungsvorgang unterliegen, sind Schmelz und Dentin.

Die Bearbeitung dieser beiden Substanzen soll in vorliegender Arbeit behandelt werden.

Unter Drehzahl ist die rotierende Geschwindigkeit des Werkzeuges zu verstehen; sie wird gemessen in: Umdrehungen pro Minute (U/min.).

Die Schnittgeschwindigkeit ergibt sich aus der Umdrehungszahl und dem Umfang des sich drehenden Instrumentes. Sie ist der Weg eines Diamantkornes oder einer Bohrerschneide, gemessen in einer Zeiteinheit (m/s, m/min, km/std ).

Die Grundlage für vergleichende Berechnungen gibt die Schnittgeschwindigkeit, während die Drehzahl nur technisch in bezug auf die antreibenden Maschinen von Interesse ist. Beide Begriffe sind teils eng miteinander gekoppelt, teils vollständig unabhängig voneinander. Bei Berechnungen der Schnittgeschwindigkeit, besonders wichtig auf zahnärztlichem Gebiet, ist es z.B. wesentlich, ob diese mit einem langsam laufenden Instrument mit großem Radius oder mit einem schnellaufenden Instrument, das einen kleinen Radius hat, erreicht wurde.

Unter Druck ist die lastende Einwirkung des arbeitenden, rotierenden Instrumentes auf den Schmelz oder das Dentin zu verstehen. In den nachfolgenden Versuchen wurde der Druck durch Gewichte ausgeübt, die die Zahnhartsubstanz an das sich drehende Instrument heranzogen. Der technisch einwandfreie Ausdruck für Druck wäre Vorschubkraft; dieser hat sich jedoch im zahnärztlichen Sprachgebrauch bisher nicht eingebürgert.

Die Drehzahl oder Umdrehungszahl (U/min) umfaßte bei den Versuchen den Bereich von 800 bis 250 000 U/min., entsprechend den augenblicklichen Gegebenheiten in zahnärztlichen Praxen. Eine wissenschaftlich begründete Einengung dieses umfangreichen Bereiches, eine wissenschaftliche Beschränkung bestimmter Schnittgeschwindigkeiten oder Umdrehungszahlen

liegen bisher nicht vor. Lediglich einige empirisch gewonnene Empfehlungen sind von B o n s a c k (5), E i c h n e r (11), H e r r m a n n (18) gemacht worden. Besondere Berücksichtigung fand in vorliegender Arbeit das in den vergangenen Jahren eingeführte hoch- und höchsttourige Bohren und Schleifen. E i c h n e r (11) empfiehlt folgende Einteilung:

| | |
|---|---|
| normaltourig | bis 12 000 U/min |
| hochtourig | von 12 000 bis 40 000 U/min |
| höchsttourig | über 40 000 U/min, mit einer Unterteilung in Motoren-und Luftantrieb. |

In den letzten Jahren hat sich die altgewohnte Behandlungsweise des Zahnarztes geändert. Die Dental-Industrie hat in enger Anlehnung an wissenschaftliche Erkenntnisse der allgemeinen Technik höhere Drehzahlen für umlaufende zahnärztliche Instrumente ermöglicht und eingeführt. Es gilt nun, durch wissenschaftliche Untersuchungen die möglichen Fortschritte für die zahnärztliche Tätigkeit abzugrenzen. Die Dentalgeräte für das hoch-und höchsttourige Bohren und Schleifen haben eine umfangreiche Diskussion hervorgerufen, nicht nur auf Seiten der Zahnärzte, sondern auch seitens der Patienten.

1 b. Warum soll die Umdrehungszahl erhöht werden?

Den Zahnschmerz, der wegen der an Anzahl geringen Synapsen bisweilen sehr heftig sein kann, zu verhindern oder sogar auszuschalten und die effektive Behandlung am Zahn abzukürzen, liegt seit jeher im Bestreben der Zahnärzte. Jede Möglichkeit hierzu sollte in Betracht gezogen werden. Erstaunlich ist, daß die Versuche von Huet (21), die er schon um 1930 machte, nicht für die Praxis ausgewertet wurden. Er arbeitete seinerzeit bereits mit Tourenzahlen bis zu 16 000 U/min. Soweit bekannt, lag die Unmöglichkeit der Verbreitung daran, daß die Industrie noch nicht Maschinen liefern konnte, deren Lagerungen diese hohen Beanspruchungen aushielten.

Die heutigen Lagermetallegierungen und Präzisionskugellager haben zu einer Entwicklung der Dentalmotoren geführt, die unwahrscheinlich anmutet. Die Entwicklung auf diesem Gebiet scheint jedoch nur schnell voranzustürmen. In Wirklichkeit folgt die Dentalindustrie nur den Erfahrungen der allgemeinen Technik.

Seit ca. 20 Jahren ist die Schleifindustrie in schnell fortschreitender Entwicklung begriffen. Die Drehzahl der Motore ist beim industriellen Schleifen groß. Die sich daraus ergebenden Schnittgeschwindigkeiten sind wegen der großen Scheiben oft sehr hoch. Industrielle Trennscheiben in Kunstharzbindung haben z.B. bis zu 80 m/sek. Schnittgeschwindigkeit. Man kann, um einen Vergleichswert zu haben, den Schleifweg von 30 m/sek. bei zahnärztlichen Karborund- und Siliziumkarbidsteinen annehmen. Dieser gilt in der Industrie als günstig und wirtschaftlich. Diese industrielle Erfahrung kann nicht nur unmittelbar auf die Zahnheilkunde übertragen werden, da der elektrolytisch gebundene Dentaldiamantschleifer in bezug auf Spanabtransport und Wärmeableitungsvermögen noch besser ist und somit noch günstigere Ergebnisse erzielen muß.
Die Industrie schleift nur sehr wenig mit gebundenem Diamantkorn. Diamantschleifstaub in Öllösung wird vielmehr auf einer planen Stahlscheibe verwendet ( nach Kleinschmidt, 22). Die Umrechnungsformel von der Umdrehungsgeschwindigkeit zur Schnittgeschwindigkeit und umgekehrt lautet (nach Hagemann, 17).

$$T = \frac{60 \times 1\,000 \times \text{Schnittgeschwindigkeit (m/sek.)}}{2\pi r}$$

(T = Drehzahl oder Tourenzahl in U/min.)

Wenn man einem Vergleich einen mittleren Dentalschleifer von 4 mm Durchmesser zugrunde legt und in obige Formel einsetzt, so ergibt sich eine Tourenzahl von 143 312 U/min.

Dies wäre nur die direkte Übertragung von Ergebnissen bei Siliziumkarbid- und Karborundsteinen. Der Diamantschleifer könnte nach Versuchen von D r a c h e (8) eine weitere Steigerung ergeben.

So ist der Wunsch der Dentalindustrie nach weiterer Erhöhung der Schnittgeschwindigkeit bei Diamanten verständlich. Mengenmäßig werden Diamanten noch mehr Abschliff bringen. Die Arbeiten von S t r o h (55), A d l e r (1) und G ä r t n e r (14) bestätigen diese theoretische Erwägung. Der Diamantschleifer mit 2 mm Durchmesser würde nach obigem Vergleich bei einer Schnittgeschwindigkeit von 30 m/sec. eine Umdrehungszahl von etwa 300 000 U/min ergeben. Dies entspricht den Werten bei den Luftturbinen. Für die Erhöhung der Umdrehungszahl bei Arbeiten an Zahnsubstanzen sprechen drei wichtige Argumente.

1.) Verringerung (Verminderung) oder sogar Ausschaltung der unangenehmen Vibrationserscheinungen.

2.) Kürzere Arbeitszeit durch größere Abschliffmenge und dadurch kürzere Schmerzzeit.

3.) Durch die sehr kurze Behandlungszeit könnte es möglich sein, daß gewisse Schmerzerscheinungen erst ins Bewußtsein gelangen, wenn die Bearbeitung der Zahnsubstanz schon beendet ist.

Das wichtigste Gegenargument ist die starke Hitzeentwicklung, die zur Irritation der Pulpa führen kann. Das Hauptproblem ist also die Ableitung dieser Wärme. Druck und Vibration werden geringer. Nach E i c h n e r (11) stehen Druck, Vibration und Hitzeentwicklung in gegenseitiger Abhängigkeit. Seine schematische Darstellung ist in Abb. 1 wiedergegeben:

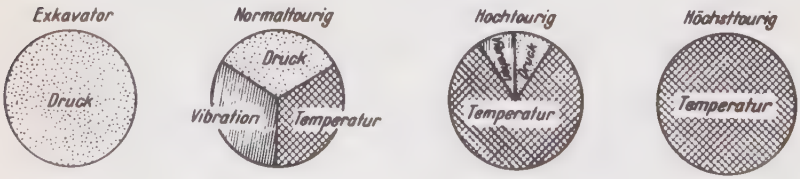



Abb.1 Schematische Darstellung der mechanischen Schmerzursachen in den verschiedenen Drehzahlbereichen.

Die Frage, ob die Drehzahl zahnärztlicher Bohrer und Schleifer erhöhrt werden soll, muß also unter Hinweis auf die Forderung nach verantwortungsbewußtem Vorgehen bejaht werden.

1c. Welches Ergebnis ist zu erwarten?

Die gestellte Aufgabe betrifft nur einen kleinen Abschnitt des gesamten Fragenkomplexes des hoch-und höchsttourigen Bohrens und Schleifens. Untersuchungen über die Spanung der Zahnhartsubstanzen mit umlaufenden zahnärztlichen Instrumenten in verschiedenen Drehzahlbereichen und bei unterschiedlichen Vorschubkräften sollen angestellt werden. Bisher ist dieser Teil des Fragenkomplexes nicht bearbeitet.
Durch lichtoptische Darstellungsmethoden wird es möglich sein, die Abschliff-und Spanungsteilchen, wie sie beim Schleifen und Bohren (Fräsen) von Schmelz und Dentin anfallen, darzustellen. Ob eine Differenzierung der Teilchen nach Oberflächenstruktur und Form gelingt, ist fraglich. Zumindest aber können Grössenunterschiede bei unterschiedlicher Tourenzahl und Schnittgeschwindigkeit und unterschiedlichem Druck erwartet werden.
Aus diesen Ergebnissen wären direkte Schlüsse auf die Arbeitsweise der Instrumente möglich.

2. Literaturstudium

2a. Allgemeine technische Literatur.

Die Zerspanungslehre der allgemeinen Technik ist auf zahnärztliches Gebiet nicht ohne große Einschränkungen und Abänderungen übertragbar. Die Zahnhartsubstanzen mit ihren organischen und anorganischen Anteilen bieten ständig wechselnde Schleif-und Bohrbedingungen. - Der Zahn als Teil des Individiums ist von diesem nicht zu trennen, seine Bearbeitung darf die physiologischen Grenzen des Gesamtindividiums nicht überschreiten. -
"Die Zerspanungslehre umfaßt die wirtschaftliche Erkenntnis der maschinellen Bearbeitung durch spanabhebende Formung,

wie Drehen, Hobeln, Fräsen usw. Ihr Ziel ist, die Zerspanungsvorgänge durch Versuchsreihen zu erkennen und durch möglichst einfache rechnerische Beziehungen zu erfassen, ferner durch Aufstellen von Diagrammen und Monogrammen ein wirtschaftliches Arbeiten zu ermöglichen, d.h. eine Ausnutzung des Werkzeuges bis an die Grenze seiner Leistungsfähigkeit ohne Überlastung der Maschine". (K r e k e l e r, 23) Krekeler hat in seinem Standardwerk über die Zerspanbarkeit vieles gesagt, was nach kritischer Abänderung zur Übernahme in das zahnärztliche Gebiet nützlich sein könnte. Hieraus wird einiges zitiert, ohne Wertung und kritische Stellungnahme vom zahnärztlichen Standpunkt aus, wenn diese Stellungnahme sich auch oftmals direkt aufdrängen will.

"Man kann nicht ohne weiteres sagen, daß ein Werkstoff, der sich gut drehen läßt, auch gut gebohrt oder gefräst werden kann". Es ist zu bemerken, daß die Technik oft bis zu 20 Größen beim Zerspanungsvorgang erfaßt und für den betreffenden Werkstoff unter den angeführten Bedingungen Versuchsreihen aufstellt. Schlüsse werden in der Technik nur dann gezogen, wenn sämtliche Versuchsbedingungen zutreffen oder ein Vielfaches bilden. Schon eine prozentual ganz gering veränderte Legierung verändert die Zerspanbarkeitsbedingungen und läßt Schlüsse oder Vergleiche nicht mehr zu. Dies würde auf zahnärztliches Gebiet übertragen bedeuten, daß man, um zu Vergleichen zu gelangen, ein Mittelmaß der Mischung zwischen organischer und anorganischer Substanz bei Zahnsubstanzen annehmen müßte (abgesehen von der Vibrationsfestigkeit der Sharpey'schen Fasern). Da dies wohl theoretisch aber praktisch nicht möglich ist, werden Versuche an Zahnhartsubstanzen nie exakt reproduzierbar sein, und Erkenntnisse aus Versuchen werden mit Einschränkungen zu werten sein.

"Es besteht die eigentümliche Wirkung, daß Werkstoffe unter dem Schnittdruck bis zu zwei Winkelgraden nachgeben und hinter dem Werkzeug wieder elastisch vorschnellen".- "Diamantwerkzeuge dürfen erst zum Schnitt gebracht werden, wenn das Werkstück die volle Drehzahl erreicht hat".- "Der Diamant darf nie im Schnitt stehen bleiben, sondern er muß frei schneiden oder aus dem Schnitt zurückgezogen werden, bevor die Maschine stillgelegt wird. Andernfalls sind Schneidenbeschädigungen zu erwarten".- "Während der Bearbeitung dürfen auch keine Veränderungen des Vorschubes oder der Spantiefe erfolgen".-

S c h a l l b r o c h und von D o d e r e r (32) sagen in den "Zerspanbarkeitsuntersuchungen an geschichteten Kunstharzpreßstoffen" über den Spanungsvorgang folgendes: "Um aber vorstellungsmäßig Ergebnisse erläutern zu können, wird der Vorgang der Spanabnahme nach B e t h m a n n als ein kombinierter Scher-, Stauch- und Anpreßvorgang entlang der Schneidkante aufgefaßt. In Bild 47 (hier Abb.2) sind schematisch diese drei Kräfte aufgezeichnet; man unterscheidet demnach eine Scherkraft Sch (Trennkraft), eine Stauchkraft St und eine Anpreßkraft A. Die Größe und Richtung dieser Kräfte werden augenscheinlich durch die Schneidenform beeinflußt.

Die Scherkraft hat die Scherfestigkeit der Zerspanungswerkstoffe zu überwinden; man darf sie für gegebene Werkstoffe und Schnittgeschwindigkeit als konstant annehmen. Die Stauchkraft hat einen großen Einfluß auf die Spanform. Mit wachsendem Spanwinkel nimmt die Stauchung des Spanes ab, weil der Span ungehinderter in seiner Ablaufrichtung entlang der Spanfläche bleiben kann. Beim theoretischen Spanwinkel = 90° entsteht überhaupt keine Stauchung, weil ein Aufspalten etwa wie beim Holzspalten mit dem Beil eintritt".

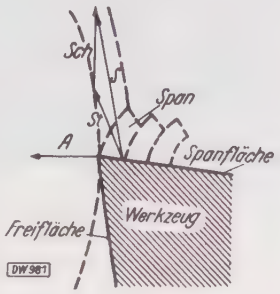



**Bild 47.** Schematische Darstellung der verschiedenen Arten der auf das Werkstück wirkenden Kräfte beim Zerspanungsvorgang, betrachtet im Schnitt senkrecht zur Meißelschneide [7]
*A* Anpreßkraft; *S* Resultierende aus *Sch* und *St*;
*Sch* Scherkraft; *St* Stauchkraft

Abb.2 (aus Schallbroch und v.Doderer)

Als Vergleich von Spanformen in der Industrie und in der Zahnheilkunde sind die nachfolgenden zwei Bilder (Abb. 3 und 4) gegeneinander übergestellt. Eine gewisse Ähnlichkeit ist ersichtlich, wenn auch die Ausrißzacken bei den Industriespänen fehlen, da diese durch "Stirnfräsen" entstanden sind.

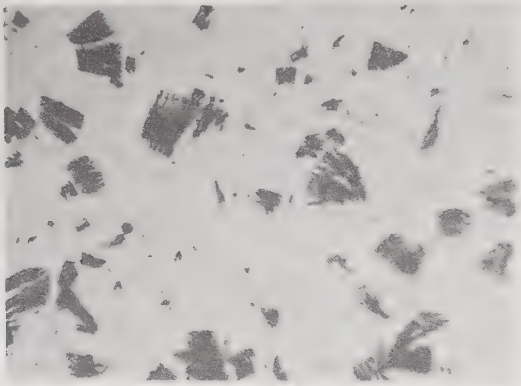


Abb. 3: Idealer Scherspan, erzeugt durch Fräsen bei 800 U/Min mit normalem Stahlbohrer in Dentin. Vorschubkraft 80 g, Vergrößerung 100 x

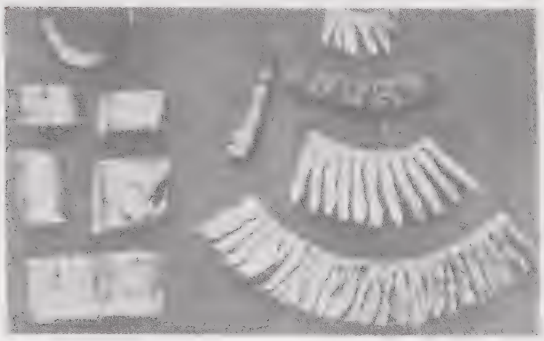


Abb.4: (aus K r o n e n b e r g, 24)

"Die Schnittiefe soll jedoch möglichst nicht unter 0,02 mm liegen, um ein Schleifen der empfindlichen Schneide an der Oberfläche mit Sicherheit auszuschalten und noch eine Spanabnahme zu garantieren".- (K r e k e l e r, 23)
"Die weitverbreitete Ansicht, daß man bei Diamanten mit möglichst hohen Schnittgeschwindigkeiten arbeiten soll, trifft nicht zu, Versuche in Deutschland und England haben gezeigt, daß eine hohe Oberflächengüte mit Diamantwerkzeugen auch bei verhältnismässig geringen Geschwindigkeiten erreicht werden kann". (K r e k e l e r, 23)

"Es kommt weniger auf die Schnittgeschwindigkeit als auf das schwingungsfreie Arbeiten der Maschine in einem bestimmten Drehzahlbereich an. Andererseits ist es eine unrichtige Auffassung, daß das Arbeiten bei niedrigen Geschwindigkeiten günstiger sei als bei hohen. Da die größten anzuwendenden Vorschübe verhältnismäßig klein sind, sind die höchstmöglichen Drehzahlen aus wirtschaftlichen Gründen anzuwenden".- "Beim Drehen einer Aluminiumgußlegierung mittels eines Hartmetallwerkzeuges wurde nur bei einer mittleren Schnittgeschwindigkeit eine hohe Oberflächengüte erzielt, bei niedrigen und hohen Geschwindigkeiten entstanden rauhere Oberflächen. Beim Abdrehen desselben Werkstoffes mit Diamantwerkzeug ergab sich ein proportionaler Anstieg der Oberflächenrauhigkeit mit der Schnittgeschwindigkeit. Ein ähnliches Verhalten des Diamantwerkzeuges wurde beim Abdrehen einer geschmiedeten Aluminiumlegierung gefunden. Während mit diesem Werkstoff bei Verwendung eines Hartmetallwerkzeuges keine Änderung der Oberflächengüte mit der Schnittgeschwindigkeit auftrat". - Und diese Ergebnisse traten zutage bei der hohen Standfestigkeit der tonnenschweren einbetonierten Maschinen! Um wieviel größer müssen die Differenzen in der Vibration bei der nur abgestützten Hand des Zahnarztes und bei der Nachgiebigkeit der Parodontalfasern sein! "Manche Diamantwerkzeuge haben einen zu kleinen Spanraum".-

"Bei sehr hohen Schnittgeschwindigkeiten sind Kühlflüssigkeiten mit sehr hoher Wärmeleitfähigkeit zu verwenden, z.B. Petroleum, Terpentin, Spiritus. Die hohe Kapillarwirkung dieser Flüssigkeiten ist günstig, um das Eindringen zwischen Spanfläche und Span zu erleichtern".- "Beim Temperaturmeßverfahren (Zweimeißelverfahren von G o t t w e i n und R e i c h e l, 15) ist ein metallischer Werkstoff Voraussetzung".- "Nach Angaben von R. W a l l i c h s (38) werden durch den Meißel höchstens 1 bis 2 Prozent, durch das Werkstück etwa 38% und durch die Späne etwa 60% der gesamten Wärmemenge abgeleitet. Diese Werte zeigen, daß der Anteil des Werkstückes doch erheblich ist. Man muß daher auch die Wärmeleitfähigkeit der Werkstoffe, die zerspant werden, in den Kreis der Betrachtungen ziehen. Nach neueren Ansichten ist es möglich, durch große Schnittgeschwindigkeitssteigerungen den erheblichen Wärmeanteil der Späne für die Werkzeugschneide unschädlich zu machen. Auf Grund älterer Versuche war bekannt, daß die zunehmende Spantiefe im Gegensatz zum größer werdenden Vorschub nur eine geringe Erhöhung der Schnittemperatur bedingt."- "Die Schnittkräfte werden verhältnismäßig wenig von der Schnittgeschwindigkeit beeinflußt. Mit größer werdendem Freiwinkel werden die Schnittkräfte geringer, auch ein größerer Spanwinkel ist günstig. Die Größe des Spanwinkels ist aber durch die Festigkeit der Meißelschneide begrenzt".-

"Bei der spanabhebenden Formgebung wird auch die Oberfläche verformt. Strukturänderungen der Kristalle treten ein. Die Tiefe der Verformung wird durch Reflexionsverfahren (Interferenzstrahlen kommen zur Beobachtung) und durch Röntgenstrahlen geklärt".-

"Durch den Poliervorgang soll die Oberfläche in einen flüssigkeitsähnlichen Zustand übergehen und unter Einfluß der Oberflächenspannung eine ideale glatte Oberfläche bilden".-

"Da die Zerspanung eine gewaltsame plastische Verformung ist, bleiben Spannungen zurück, die nachweisbar sind, Druck-und Zugspannungen. Die unter Spannung stehende Schicht betrug bis zu 1,1 mm".-

"Es ist zwischen Gegenlauf und Gleichlauffräsen zu unterscheiden. Beim Gegenlauffräsen wird das Werkstück gegen den Fräser bewegt. Der kommaförmige Frässpan wird an den dünnsten Stellen abgehoben. Der Fräser gleitet zunächst über die Werkstoffoberfläche bis er genügend Material angestaucht hat, um die eigentliche Spanabnahme vornehmen zu können. Beim Gleichlauffräsen haben Werkstück und Werkzeug die gleiche Bewegungsrichtung. Der Span wird an der dicksten Stelle zuerst abgetrennt. Der Gleitweg wird fast ganz vermieden. Scharfe Schneiden mit kleinen Keilwinkeln sind Voraussetzung. Nachteilig ist, daß der Fräser das Bestreben hat, das Werkstück aus der Aufspannung herauszureißen".-

"Das Schleifen ist ein spanabhebender Vorgang, bei dem durch die scharfen Kanten einer Vielzahl kleiner Körner ganz feine Spänchen abgehoben werden".-

"Der Freiwinkel muß eine Mindestgröße haben, damit die Freifläche nicht reibt".-

"Durch negativen Spanwinkel: höhere Schnittgeschwindigkeit, geringeren Verschleiß.- Eine Schwungmasse ist zweckmässig, um Belastungsspitzen zu überbrücken.- Die Schnittkräfte nehmen mit abnehmendem Spanwinkel zu, so daß in der Praxis vielfach die Leistung der Maschine nicht ausreicht. Mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit nehmen die Schnittkräfte bei negativem Spanwinkel ab, während sie bei positivem Winkelwert nahezu konstant oder eher ansteigend sind. Beim negativem Spanwinkel werden die gefährlichen Kräfte von der Schneidkante weg zu weniger empfindlichen Stellen verlegt. Eine höhere Maschinenleistung ist aber erforderlich. Eine Herstellung zäherer Hartmetalle als bisher wird die Beibehaltung positiver Spanwinkel ermöglichen, da der Leistungsbedarf hierbei geringer ist".-

Da die Sintermetalle erst nach dem Kriege weit verbreitete Anwendung finden, liegen auch in der Technik noch nicht sehr viele Ergebnisse vor (Verf.).
"Die 'Spanungsgeometrie' ist eine ganz andere geworden. Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe lassen sich gegenüber den bisherigen Werten um ein Mehrfaches steigern".-
"Zwischen Zerspanbarkeit und Brinellhärte bestehen genau soviel Beweise dafür als dagegen. Die Zugfestigkeit und die Brinellhärte lassen nur Vergleiche bei ein und derselben Werkstoffgruppe zu. Fräsen sollen grundsätzlich gleichläufig arbeiten. Der Spantransport ist besser und Beschädigungen der Oberfläche werden vermieden".-

Die Arbeiten von R y s c h-K o w i t s c h (29) haben ergeben, daß sich das Schleifen von Glas aus drei Komponenten zusammensetzt:

1.) Spanabhebender Vorgang,
2.) plastische Verformung ohne Abtrennung von Materialteilchen,
3.) Ausreißen und Zersprengen des Werkstoffes.

Je nach den Schleifbedingungen wird die eine oder die andere Komponente überwiegen.
Diese grundlegenden Tatsachen der Zerspanungstechnik sind durch andere Autoren in ähnlicher Form erkannt und bewiesen worden. Hierzu gehört auch K l e i n s c h m i d t (22) im Schleifindustriekalender. Dieser stellt mehr eine praktische Anweisungsvorschrift über Schnittgeschwindigkeiten und Zerspanungsmerkmale bei den einzelnen Formen der Zerspanung für den Spanungshandwerker dar, ohne die wissenschaftliche Seite des Gebietes zu betonen. Es kann darauf verzichtet werden, die gleichen Erkenntnisse, die Kleinschmidt ebenso wie Krekeler hat, zu zitieren.
P a l i t z s c h und H e l m e r d i g (28) haben in ihrer Veröffentlichung die einzelnen Meßverfahren der Temperaturverhältnisse an den Schneiden spanabhebender Werkzeuge einer kritischen Betrachtung unterzogen.

Das Zweimeißelverfahren, das als das beste gilt, ist für Versuche an Zähnen nicht geeignet. Die anderen Methoden haben zu große Streuungen, bzw. sind zu kompliziert in den Anordnungen. Hier gilt es, noch eine geeignete einfache Methode zu finden, um bei der Messung der erhöhten Temperaturen beim hoch- und höchsttourigen Arbeiten Erfolge zu erzielen.- K r u e l (25) ist mit seinem grundlegenden Werk, das allerdings schon über 20 Jahre alt ist, schon oft von zahnärztlichen Autoren, die über Schleif-und Bohrversuche im normaltourigen Sektor veröffentlichten, zitiert worden.

Das Bohren und Schleifen im hoch - und höchsttourigen Bereich setzt eine starke Spraykühlung voraus und macht unter anderem die Differenzierung zwischen naß und "halbtrocken" (K r u e l) unmöglich. Aus der Form der Späne schließt Kruel hypothetisch auf die Art der Zerspanbarkeit in Abhängigkeit vom Material (Späne mit Rundungen bei mineralischen Stoffen und scharfkantige Späne bei Hartmetallen.

Abschliessend ist zur technischen Literatur und zu den Erkenntnissen des Diamantschleifens, des Bohrens und Fräsens festzustellen, daß vieles übernommen werden könnte. Voraussetzung ist allerdings, daß sich die wissenschaftlichen Erkenntnisse der Technik den physiologischen Gegebenheiten des Individuums unterordnen lassen. Individuelle Einschränkungen werden sich bei jeder Behandlung nach der Art der Behandlungsweise ergeben.

2 b. Zahnmedizinische Literatur.

In der zahnärztlichen Literatur liegen wegen der kurzen Zeit seit der Entwicklung auf dem Gebiet des hoch- und höchsttourigen Bohrens und Schleifens nur wenig wissenschaftliche Erkenntnisse und Veröffentlichungen vor.

Das Gebiet ist viel zu umfangreich, als daß man außer in

Teilerkenntnissen zu einem abschließenden Werturteil in all den vielen Problemstellungen schnell gelangen könnte. Es wurde daher versucht, die wissenschaftlichen Erkenntnisse des normaltourigen Bohrens und Schleifens, die in größerer Anzahl vorliegen, in Relation zum hoch-und höchsttourigen Bohren und Schleifen zu bringen. Das hoch-und höchsttourige Bohren und Schleifen ging oftmals ganz neue Wege. Bei den Hartmetallbohrern der Turbinen z.B. ist der entwicklungsmäßige Anschluß nicht bei dem normaltourigen Bohren der Zahnheilkunde, sondern bei der allgemeinen Technik zu suchen. Auch in der Technik wurde erst kurz vor dem Kriege erstmalig Hartmetall zur Bearbeitung von Eisenbahnradachsen verwendet. Es liegt auf der Hand, daß auch hier die wissenschaftlichen Erkenntnisse gering sein müssen. Vorwiegend werden in der zahnärztlichen Literatur Untersuchungen über den Bohr-bzw. Schleifeffekt angeführt. So hat S ä n g e r (31) in seiner Dissertation die Tourenzahl von 5 000 U/min seinen Schleifversuchen zugrunde gelegt. Demgegenüber konnte bei eigenen Diamantschleifversuchen festgestellt werden, daß gleichbleibende reproduzierbare Ergebnisse erst bei Tourenzahlen über 10 000 U/min zu erreichen sind. Nach oben war keine maximale Begrenzung der Drehzahl zu ermitteln.

H e r r m a n n (18) nahm zu seinen Versuchen mit hohen Touren eine Kunstharzpressmasse. Es wäre jedoch sehr problematisch, wenn man seine wissenschaftlichen Erkenntnisse auf das Arbeiten an menschlichem Schmelz und Dentin übertragen wollte.

H e g e m a n n (17) stellt bemerkenswerte Versuche an über die Art der achsialen und radialen Abweichungen bei drehenden zahnärztlichen Instrumenten.

Die Arbeit von S a l z m a n (30), die sich mit dem Wirkungsgrad von Rundbohrern auf Zahnschmelz befaßt, wird dann wieder sehr aktuell werden, wenn es der Industrie gelingen wird, Hartmetallbohrer mit spitzen Schneidenwinkeln herzustellen.

D r a c h e's (8) Erkenntnisse, daß der Diamant eine wesentlich höhere Schleifwirkung hat als Karborund und Siliciumkarbid (etwa 4fach), sind heute Allgemeingut der Zahnärzte.
Ebenso hat H o l z a p f e l (19) die Arbeitsleistung der Schleifinstrumente einer wissenschaftlichen Prüfung unterzogen und ist zu den gleichen Erkenntnissen gekommen wie D r a c h e.
V a n d e W a a (36) betont, daß das Anwachsen der Hitze nur ein Problem ist. Diesem sind "efficiency, vibration, characteristics and the life expectancy of the rotating cutting instruments" als weitere Hauptprobleme beifügen. Über die Spanung ist in der zahnärztlichen Literatur nur ein Hinweis zu finden.
H u d s o n (20) zeigt Spanungscharakteristiken durch Hartmetallbohrer an Dentin und anderen Substanzen bei 5 000 U/min durch photographische Aufnahmen. Die Schwierigkeit liegt hierbei darin, die Verschlußzeiten des Aufnahmegerätes so kurz zu wählen, daß eine Scharfzeichnung der momentanen Bohrerschneidenstellung noch stattfindet. ".....Still photographs with twomillionth - second exposures were made. Action was arrested at speeds of rotation of 5 000 r.p.m., however, little information as to the true cutting process was revealed. The use of the high-speed (3 000 frames per second) motion-picture photography has shown some significant cutting characteristics. ....Dentin, dentin substitute, and brass show curled chips as might be seen in the case of a million cutter. Glas appears to be pulverized rather than cut, through the repeated blows of the bur blades as the instrument rotates".

In jüngster Zeit hat E i c h n e r (10) in Zusammenarbeit mit dem Institut für den wissenschaftlichen Film, Göttingen, Hartmetallbohrer und diamantierte Schleifer während der Arbeit an Zahnhartsubstanzen (Elfenbein) in allen zur Zeit möglichen Drehzahlbereichen gefilmt. Durch Zeitdehnungsaufnahmen ist die Art der Spanentstehung und - was dem Verf.

besonders wichtig erschien - die seitliche Vibration des Instrumentes hierbei deutlich zu erkennen.
Wie schon von Hudson (20) hervorgehoben, ist die scharfe photographische Aufnahme von Spänen schwierig. Walkhoff (37) hat in bezug auf die mikrophotographie mit sichtbarem und ultraviolettem Licht in seinen Veröffentlichungen von einer "förderlichen" Vergrößerung und von"leeren" Vergrößerungen gesprochen. Bei beiden Lichtarten können Interferenzerscheinungen schon bei geringer Vergrösserung auftreten und die Konturen des Gegenstandes verwischen. Eine wissenschaftliche Diskussion mit Faber (12) konnte diese Feststellung nicht entkräften. Verf. hat in Vorversuchen mit 300-und 600facher Vergrößerung feststellen müssen, daß die Zeichnung der Späne weniger scharf wurde und hat deshalb nur eine hundertfache Vergrösserung gewählt. Es wäre vielleicht interessant und von wissenschaftlichem Wert, Spanmerkmale des Dentins und Schmelzes unter dem Ultramikroskop zur Darstellung zu bringen. Vergleichsweise wurden die Präparate in "auffallendem" Licht durch Friedeberg (13) einer eingehenden Musterung unterzogen.

## 3. Eigene Versuche

### 3a. Aufgabenstellung

Das hoch-und höchsttourige Bohren und Schleifen auf zahnärztlichem Gebiet hat eine Anzahl Probleme aufgeworfen. Viele Fragen sind noch zu beantworten, um zu einem abschliessenden Urteil zu gelangen.
Es steht z.B. noch offen, ob zwischen hoch - und höchsttourigem Arbeiten ein fließender Übergang vorhanden ist oder ob hier ein Einschnitt vorzunehmen ist.
Es ist weiterhin zwischen Laborversuchen und Versuchen am Behandlungsstuhl zu unterscheiden. Laborversuche sind offensichtlich aus vielerlei Gründen nur bedingt auf die Praxis übertragbar. Versuche am Behandlungsstuhl sind wegen der hierzu notwendigen Patientenanzahl nur in

Kliniken durchführbar und beanspruchen eine lange Zeit für ihre Durchführung. In der vorliegenden Laborarbeit soll versucht werden, aus der Art der Späne von Zahnhartsubstanzen, aus ihrer Form, Größe und evtl. der Oberflächenbeschaffenheit, die bei unterschiedlichem Druck und unterschiedlicher Umdrehungsgeschwindigkeit (Schnittgeschwindigkeit) entstanden sind, Schlüsse auf die Art des spanenden Vorganges beim Schleifen, Bohren und Fräsen zu ziehen.

In einigen Vergleichsprüfungen wird weiterhin versucht, das Prüfungsgebiet möglichst abzurunden.

Versuche an Elfenbein und an Glas mit ganz niedriger Drehzahl mit gewissen Abänderungsformen der gebräuchlichsten Rosenbohrer - dem Drallbohrer und dem Spanbrecher- durchgeführt, sollen Anschluß an andere wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet des zahnärztlichen Bohrens und Schleifens geben.

Dabei wurde stets versucht, die Versuche und Prüfungen so praxisnahe wie irgend möglich zu gestalten.

3b. Versuchsanordnung

Es wurden Schleif-, Fräs-und Bohrversuche an nicht veränderten Zahnhartsubstanzen frisch extrahierter, nicht cariöser Praemolaren und Molaren durchgeführt. Die Zeitspanne von der Extraktion bis zur Veränderung des Versuches betrug nie mehr als eine Stunde. Die Zähne wurden unter normalem Leitungswasser kurzzeitig abgespült und abgetrocknet und dann in einem kleinen luftdichten Behälter bis zur Bearbeitung aufbewahrt. Sie wurden so vor Austrocknung geschützt.

Als Bohrmaschine diente eine von der Firma Siemens-Reiniger A.G. zur Verfügung gestellte Maschine mit einer Drehzahl von 16 500 U/min.(Abb.5). Der als Tischmaschine ausgeführte Motor hatte einen stufenlosen Regler, der es ermöglichte, die Drehzahl genau einzustellen. An ein

Doriotgestänge wurden wahlweise ein normaler Rollenanschluß oder eine Reibradübersetzung der Firma KaVo (Nr.419) mit etwa 3-facher Übersetzung angebracht.

Für die Versuche bei niedrigsten Touren (800 U/min) mit normalen Stahlbohrern wurde ein bisher ungebrauchtes normales KaVo-Handstück benutzt. Dies hatte keine merkliche Toleranz in seiner Bohrerführung.

Die Umdrehungszahl von 800 U/min als Mittel wurde von Bonsack (5) als die günstigste Frästourenzahl angegeben.

Die Schleif-und Bohrversuche von 5 000 bis zu 40 000 Touren wurden mit einem geraden, kugelgelagerten Imperatorhandstück gemacht.

Zum Vergleich mit der Imperatorlagerung wurden in jeder Versuchsreihe auch Untersuchungen bei 40 000 U/min mit dem Winkelstück der Firma Kerr gemacht. 80 000 U/min wurden nur mit dem Kerr-Winkelstück erreicht. Hierbei handelt es sich um ein Winkelstück, bei dem ein endloser Nylonriemen über eine Rollenanordnung im Innern des Winkelstückes eine doppelt kugelgelagerte Klemmfassung für spezielle Bohrer antreibt. Das Übersetzungsverhältnis im Innern des Winkelstückes beträgt 1 : 5. Das Gerät muß in einem Spezialbehälter, der die Luftfeuchtigkeit absorbiert, aufbewahrt werden. Das Winkelstück kann an das normale Doriotgestänge angeschlossen werden.

Die Drehzahl (U/min) wurde direkt am rotierenden Bohrer oder Schleifer mit einem Meßgerät bestimmt. Ein geringer Abfall der Tourenzahl war beim Benutzen des Meßgerätes ohne Belastung durch den Eigenkraftverbrauch des Meßgerätes zu verzeichnen. Dieser Abfall konnte jedoch unberücksichtigt bleiben, da er bei den gleichen Umdrehungsgeschwindigkeiten stets gleichgroß ist. Es ist daher auch zulässig, mehrere Versuchsreihen zu vergleichen. Ein Fehler ist nur darin zu finden, daß die tatsächliche Umdrehungsgeschwindigkeit in der Arbeitszeit des Instrumentes um etwa 100-200 U/min bei

den Tourenzahlen von 40 000 und 80 000 U/min abfällt. Ein gewisser Abfall, wenn auch ein geringer, wird bei jedem Motor eintreten.

Auf einem Schleiftisch wurden die Hand-und Winkelstücke jeweils durch zwei starre Klemmvorrichtungen eingeschraubt. Die Zahnsubstanz für den Versuch war nach vorherigem viereckigen Beschleifen durch sechs Gewindeschrauben in einem u-förmigen Halter festgeschraubt. Dieser Halter war seinerseits mit einer Gleitschiene in einem festgeschraubten Metallblock in zwei Bronzegleitlagern und einem Kugellager (Walzenlager) toleranzlos beweglich.

Über eine Rolle zogen Gewichte den Zahnhartsubstanzhalter (Abb.7) mit einem bestimmten Druck, der durch die Gewichte erzeugt wurde und zur Korrektur mit einem Dynamometer direkt gemessen wurde, rechtwinkelig (beim Fräsen und Schleifen) und ohne Winkel (beim Bohren) gegen das rotierende Instrument.

Die erzeugten Späne wurden auf einem trockenen Objektträger, der stets eine Entfernung von drei Zentimetern von der arbeitenden Stelle des Instrumentes hatte, aufgefangen. Die Späne wurden mit einem Deckglas abgedeckt und dessen Ränder mit Tesafilm auf dem Objektträger festgeklebt. Die mikroskopische Durchmusterung und die Anfertigung von Plattennegativen im Format von 9 x 12 cm in 100-facher Vergrösserung geschah innerhalb der nächsten 24 Stunden. Besonders interessante Ausschnitte außerhalb der Versuchsreihe haben 125-fache Vergrößerung.

Die Aufnahmen wurden mit dem Z e i ß-U l t r a p h o t gemacht.

Die hergestellten Präparate zeigten oft eine Zweischichtigkeit der Späne. Objektträger und Deckglas hatten durch die Säuberung mit einem Leder-und einem Leinenlappen eine Aufladung erfahren, die auf die Späne positiv magnetisch wirkte. So lagen oftmals je eine Schicht am Deckgläschen

und eine zweite am Objektträger. - Das Deckgläschen wurde in jedem Falle nur leicht aufgelegt, um Spanstrukturen nicht zu zerdrücken. Diese Schichtdicke zwischen Objektträger und Deckgläschen war ungünstig, Unschärfen mußten sich hieraus ergeben.

Vorversuche zur Herstellung von Präparaten mit Kanadabalsam oder mit einem Tropfen aqua dest. zum Auffangen der Späne, auch solche im "Hängenden Tropfen", verliefen unbefriedigend, da die Randzone des Flüssigkeitstropfens eine große Aufladung und somit Affinität zu den Spänen hatte. Zusammenballungen und Überlagerungen der Späne in der Randzone erschwerte die Differenzierung der Späne. Ungenauigkeiten und eine gewisse naturwissenschaftlich unberechtigte Vereinfachung liegen schon an sich in dem System der Auswertung, da dreidimensionale Körper (Späne) in ein zweidimensionales Maßsystem (Photographie) übergeführt werden.

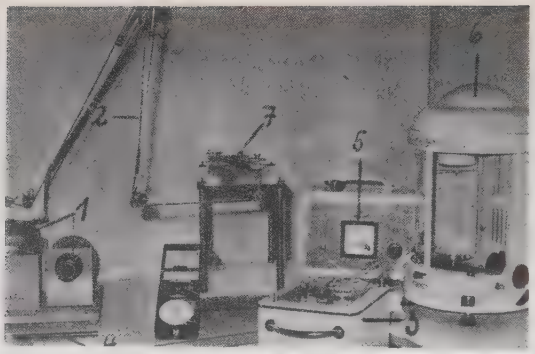
Die Negativplatten, die mit dem gleichen Entwickler und unter gleichen sonstigen Bedingungen hergestellt waren, wurden dann von einem Diaskop (Leitz) auf einem Bildschirm (Perlleinwand) projeziert, nachdem dieser Bildschirm in Entfernung vom Projektor und in winkelgerechter Stellung zum Projektionsstrahl justiert war. Ein Maßstab von Zeiß (1 mm in hundert Teilstriche geteilt) wurde ebenfalls von dem Ultraphot mit hundertfacher Vergrößerung photographiert. Der Millimeter auf dem Objektträger war dann 10 cm (in hundert Teilstriche unterteilt) auf der Negativplatte lang. Vor dem Ausmessen wurde dieser Maßstab auf den Bildschirm projeziert und dieser soweit vor oder zurück bewegt, bis der Millimeter mit seiner hundertfachen Teilung auf der Leinwand ein Meter maß. Ein Millimeter auf der Leinwand war demnach 1/1000 mm oder 1 my auf dem Objektträger. Diese 1000-fache Vergrösserung, die noch eine gute Randschärfe besass, genügte vollauf für die Messungen der Späne, da diese immer ein Vielfaches von 1 my waren.

Zwei dünne Fäden, diagonal gespannt, teilten die Leinwand in vier dreieckige Abschnitte. In jedes Dreieck wurden wahllos je fünf Stecknadeln mit großem bunten Kopf gesteckt, die dann den darauf projezierten Span zum Ausmessen bezeichneten. Traf der projezierte Span nicht eine Stecknadeleinstichstelle, so wurde der nächstliegende Span ausgemessen. Die Ausmessungen am Bildschirm wurden mit einer Schublehre in Millimeter-Einteilung vorgenommen.

Das errechnete Mittel in größter Länge und größter Breite der ausgemessenen Späne ergab dann ein Maß für die Durchschnittsgröße der Späne. bei den gewählten Versuchsbedingungen. Es wurden jeweils 20 oder 10 und in ganz wenigen Fällen 5 Späne ausgemessen oder in der Form bestimmt. Rechnerisch wurde dann der Mittelwert bis auf 1/10 my bestimmt. Die Zahl der Ausmessungen richtete sich in wenigen besonderen Fällen nach der geringen Anzahl der vorhandenen Späne auf der Platte.

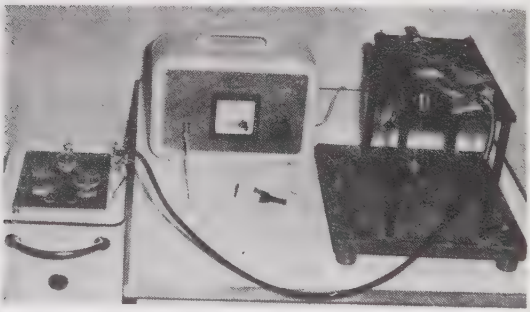
Außerdem wurden der kleinste und der größte Span mit dem Auge bestimmt und ausgemessen. In Zweifelsfällen geschah das auch mit zwei oder drei Spänen, dann wurde der mit dem größten bzw. kleinsten Flächeninhalt gewertet. Die dritte Dimension der Späne war nicht zu bestimmen. Es ist aber möglich, wie in nachfolgender Diskussion ausgeführt wird, aus optischen Zeichen gewisse Schlüsse auf die "Dicke" der Späne zu ziehen.

Abb.5



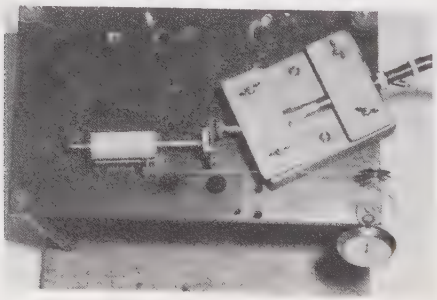

1 Motor mit stufenlosem Regler von Hand aus,
2 Doriot-Gestänge, 3 KaVo Borden-Airotor,
4 Stoppuhr und Dynamometer,
5 elektromagnetischer Tourenzähler,
6 Fliehkraft-Tourenzähler, 7 Schleiftisch

Abb.6



Einspannung des Borden-Airotors in Holzhaltevorrichtung

Abb.7



Schleiftisch in Aufsicht

3c. Messungen

1. Versuchsreihe

Schleifversuche mit Diamantschleifer auf Schmelz.

a.) Diamantschleifer: mittlerer Durchmesser 2,2 mm
konische Walze, dickeres Ende zu Schaft.
(Turbo - FG - Satz Nr. 113 von D u. Z.)

b.) Schleifrad Nr. 98 von D u. Z. in Imperatorlagerung.

c.) Sonderanfertigung desselben Schleifrades mit Schaft
für das Kerr - Winkelstück.

Versuch Nr. 137 wurde mit dem B o r d e n - A i r o t or von der Firma KaVo bei niedrigster Einstellung des Luftdruckes (von Firma mit 250 000 U/min angegeben) durchgeführt. - Es wurde bei diesem Versuch darauf geachtet, daß der Schmelz flächig von der Mitte des Schleifers berührt wurde. Schleifer Nr. 113 wurde wegen des größten Durchmessers und damit der größten Schnittgeschwindigkeit gewählt.

| Versuch Nr. | 32 | 33 | 137 |
|---|---|---|---|
| | 6 x 8 | 6 x 16 | 10 Messungen im ganzen Bild |
| 1.Dreieck oben Mitte | 3 x 4 | 11 x 14 | |
| | 6 x 11 | 15 x 21 | 3,2 x 1,8 |
| | 17 x 67 | 4 x 11 | 3,0 x 2,1 |
| | 2 x 3 | 7 x 9 | 2,5 x 1,0 |
| | 6 x 7 | 9 x 7 | 3,4 x 2,0 |
| 2.Dreieck rechts | 20 x 43 | 2 x 1 | 2,7 x 1,4 |
| | 20 x 24 | 2 x 1 | 2,5 x 0,9 |
| | 2 x 2 | 9 x 7 | 3,5 x 1,4 |
| | 2 x 2 | 2 x 2 | 3,7 x 1,7 |
| | 3 x 2 | 1 x 1 | 3,7 x 1,8 |
| 3.Dreieck unten Mitte | 4 x 4 | 3 x 2 | 3,0 x 2,0 |
| | 14 x 9 | 14 x 12 | 31,2 x 16,1 |
| | 19 x 12 | 2 x 1 | |
| | 2 x 1 | 9 x 6 | |
| | 2 x 3 | 5 x 3 | |
| 4.Dreieck links | 16 x 17 | 67 x 43 | |
| | 5 x 12 | 9 x 3 | |
| | 7 x 10 | 2 x 1 | |
| | 18 x 35 | 12 x 9 | |
| Summe: | 160 x291 | 142 x215 | 31,2 x 16,1 |
| Durchschnittsgrösse: | 8 x 14,6 | 7,1 x 10,8 | 31,2 x 16, 1 |
| kleinster Span: | 1 x 2 | 1 x 1 | 2,5 x 0,9 |
| größter Span: | 17 x 67 | 67 x 43 | 3,7 x 1,8 |

| Versuch-Nr. | 34 | 35 | 36 |
|---|---|---|---|
| 1.Dreieck oben Mitte | 9 x 20 | 6 x 12 | 7 x 3 |
| | 11 x 13 | 3 x 7 | 3 x 2 |
| | 1 x 2 | 1 x 2 | 3 x 2 |
| | 11 x 12 | 1 x 2 | 8 x 4 |
| | 4 x 7 | 8 x 9 | 6 x 3 |
| 2.Dreieck rechts | 9 x 11 | 15 x 4 | 16 x 10 |
| | 4 x 12 | 1 x 1 | 6 x 3 |
| | 4 x 4 | 4 x 3 | 9 x 5 |
| | 3 x 9 | 7 x 5 | 5 x 4 |
| | 3 x 4 | 4 x 3 | 2 x 2 |
| 3.Dreieck unten Mitte | 9 x 20 | 3 x 2 | 2 x 2 |
| | 5 x 7 | 4 x 3 | 12 x 7 |
| | 8 x 11 | 5 x 3 | 1 x 1 |
| | 8 x 26 | 6 x 3 | 3 x 2 |
| | 2 x 3 | 2 x 2 | 5 x 4 |
| 4.Dreieck links | 6 x 1 | 3 x 2 | 8 x 5 |
| | 10 x 4 | 12 x 4 | 4 x 3 |
| | 16 x 7 | 12 x 9 | 7 x 5 |
| | 7 x 3 | 23 x 13 | 9 x 5 |
| | 9 x 6 | 3 x 3 | 8 x 6 |
| Summe: | 112 x 209 | 79 x 136 | 124 x 78 |
| Durchschnittsgröße: | 5,6 x 10,5 | 4 x 6,8 | 6,2 x 3,9 |
| kleinster Span: | 2 x 2 | 1 x 1 | 1 x 1 |
| größter Span: | 55 x 43 | 37 x 18 | 25 x 18 |

| Versuch Nr. | 37 | 38 | 39 |
|---|---|---|---|
| | 2 x 1 | 2 x 1 | 1 x 1 |
| 1.Dreieck oben Mitte | 4 x 3 | 2 x 2 | 22 x 9 |
| | 8 x 4 | 1 x 1 | 34 x 15 |
| | 3 x 2 | 6 x 3 | 17 x 6 |
| | 6 x 6 | 12 x 9 | 13 x 7 |
| | 11 x 3 | 6 x 5 | 1 x 1 |
| 2.Dreieck rechts | 4 x 3 | 5 x 4 | 36 x 3 |
| | 3 x 2 | 29 x 12 | 27 x 16 |
| | 2 x 2 | 8 x 6 | 26 x 21 |
| | 4 x 3 | 3 x 2 | 14 x 12 |
| | 6 x 4 | 22 x 10 | 11 x 6 |
| 3.Dreieck unten Mitte | 9 x 6 | 46 x 16 | 19 x 12 |
| | 3 x 1 | 6 x 6 | 20 x 20 |
| | 1 x 1 | 4 x 3 | 14 x 12 |
| | 5 x 4 | 3 x 2 | 27 x 18 |
| | 3 x 2 | 1 x 1 | 2 x 1 |
| 4.Dreieck links | 1 x 1 | 46 x 25 | 1 x 1 |
| | 8 x 7 | 14 x 8 | 7 x 5 |
| | 10 x 9 | 54 x 13 | 12 x 9 |
| | 6 x 4 | 1 x 1 | 24 x 22 |
| Summe: | 99 x 68 | 271 x 130 | 328 x 197 |
| Durchschnittsgröße: | 5,9 x 3,4 | 13,6 x 6,5 | 16,4 x 9,9 |
| kleinster Span: | 1 x 1 | 1 x 1 | 1 x 1 |
| größter Span: | 12 x 26 | 46 x 25 | 36 x 17 |

| Versuch Nr. | 40 | 41 | 42 |
|---|---|---|---|
| 1.Dreieck oben Mitte | Nur 1 Span vorhanden | 70 x 27<br>21 x 9<br>34 x 23<br>39 x 28<br>9 x 7 | 4 x 11<br>7 x 10<br>2 x 3<br>12 x 18<br>20 x 31 |
| 2.Dreieck rechts | 58 x 32<br>7 x 4<br>9 x 7<br>10 x 6<br>9 x 5 | 114 x 73<br>98 x 38<br>47 x 16<br>26 x 25<br>34 x 20 | 17 x 29<br>18 x 23<br>13 x 18<br>16 x 45<br>6 x 17 |
| 3.Dreieck unten Mitte | 16 x 13<br>31 x 27<br>5 x 3<br>3 x 2<br>27 x 17 | 16 x 17<br>29 x 17<br>10 x 19<br>38 x 30<br>3 x 3 | 9 x 41<br>9 x 9<br>1 x 2<br>27 x 32<br>12 x 16 |
| 4.Dreieck links | 13 x 9<br>10 x 6<br>14 x 6<br>4 x 3<br>3 x 2 | 78 x 51<br>35 x 11<br>11 x 10<br>63 x 50<br>2 x 1 | 1 x 3<br>9 x 16<br>3 x 4<br>22 x 28<br>2 x 5 |
| 3.Dreieck unten Mitte zusätzlich | 27 x 22<br>10 x 3<br>14 x 7<br>6 x 5<br>54 x 27 | | |
| Summa: | 330 x 206 | 787 x 465 | 210 x 361 |
| Durchschnittsgröße: | 15,7 x 9,8 | 39,4 x 23,3 | 10,5 x 18,1 |
| kleinster Span: | 2 x 1 | 1 x 1 | 2 x 1 |
| größter Span: | 58 x 32 | 114 x 73 | 16 x 45 |

| Versuch Nr. | 43 | | 44 |
|---|---|---|---|
| | 9 x 10 | | 36 x 32 |
| Ausmessungen ohne Dreieckseinteilung. Wegen geringer Anzahl wurden 20 Späne im gesamten Bild ausgemessen. | 10 x 19 | 1.Dreieck | 20 x 13 |
| | 22 x 23 | oben Mitte | 21 x 12 |
| | 18 x 30 | | 8 x 5 |
| | 8 x 9 | | 5 x 3 |
| | 14 x 27 | | 32 x 31 |
| | 18 x 47 | 2.Dreieck | 36 x 24 |
| | 17 x 33 | rechts | 9 x 4 |
| | 11 x 17 | | 12 x 9 |
| | 37 x 340 | | 18 x 8 |
| | 1 x 3 | | 78 x 40 |
| | 3 x 3 | 3.Dreieck | 16 x 15 |
| | 26 x 27 | unten Mitte | 7 x 3 |
| | 4 x 6 | | 22 x 15 |
| | 18 x 31 | | 83 x 52 |
| | 11 x 29 | | 138 x 62 |
| | 5 x 7 | | 55 x 26 |
| | 4 x 5 | | 28 x 12 |
| | 4 x 6 | 4.Dreieck | 4 x 3 |
| | 17 x 18 | links | 25 x 14 |
| | 6 x 15 | | |
| Summe: | 254 x 695 | | 653 x 373 |
| Durchschnittsgröße: | 12,7 x 34,8 | | 32,7 x 18,7 |
| kleinster Span: | 2 x 1 | | 3 x 3 |
| größter Span: | 340 x 37 | | 138 x 62 |

Diskussion der ersten Versuchsreihe.

In bezug auf die Form der Späne ist festzustellen, daß eine Kompaktheit bei den größeren Spänen vorherrscht, die kleinen zeigen eine sehr zerschlissene und vielgestaltige Randform. Dies zeigen besonders deutlich die Aufnahmen der Präparate Nr. 32 und Nr. 33 (Abb. 9). Die sehr große Schnittgeschwindigkeit bei diesen beiden Versuchen von ca. 40 m/sek (Vergleich: Airotor mit größtem Schleifer ca. 25 m/Sek) ließ ganz offensichtlich zwei Größenordnungen von Spänen entstehen, die ohne Zweifel durch die Vibration des Schleifers entstanden sind. Der übergroße Schleifer, der eine Sonderanfertigung für das Kerr-Winkelstück war (um mit dem formgleichen Imperatorschleifrad Nr. 98 von D.& Z. einen Vergleich zuzulassen), wird normalerweise nicht hergestellt, da die Belastungen für die Kugellager durch die Zentrifugelkraft zu groß sind. Wissenschaftlich sind diese beiden Versuche jedoch sehr aufschlußreich. Es muß angenommen werden, daß der Schleifer in ständigem Kontakt mit dem Schmelz bleibt und hierbei die kleinen Späne erzeugt. Die großen Späne sind dann als ein Produkt des Herausschlagens infolge der Schwingung des Schleifers aufzufassen. Sie sind kompakt und rundlich durch die schlagende Arbeit des einzelnen Diamantkornes, während die kleinen Späne durch den gleichmässigen Spanungsvorgang zerschliessen und vielgestaltig erscheinen.

Durch die verdoppelte Schleifzeit sind bei Versuch Nr.32 mehr größere Späne entstanden. Die halbe Sekunde Schleifzeit Nr. 33 (Abb.9) hat das Verhältnis zwischen großen und kleinen Spänen noch nicht voll einspielen lassen. Es ist auch nicht bestimmt, ob dies bei 1 Sekunde schon der Fall gewesen ist. Eine größere Schleifzeit konnte jedoch wegen der Menge der anfallenden Späne nicht gewählt werden. Es wurde meist die Stelle des Präparates mit den wenigsten Spänen photographiert.

Es besteht ein Übergang zu den kleinen Spänen bei Nr.32. Bei Nr. 33 ist dieser Übergang nicht festzustellen. Die kleinen Späne sind hier gleichmässiger und kleiner. Die größere

Durchschnittsspangröße bei Nr. 32 ist u.a. auch auf die größere Anzahl der großen Späne zurückzuführen. Es wäre evtl. eine Unterteilung auch in der Ausmessung in große und kleine Späne angebracht gewesen, wenn bei Nr. 32 keine Zweifel bestanden hätten, welche zu den großen und welche noch zu den kleinen zu zählen wären.

Wegen der zwei Größenordnungen bei den Präparaten Nr. 32 und 33 ist ein Vergleich zum Airotor (Nr.137,Abb.8), bei dem zwei Größenordnungen nicht feststellbar sind, kaum zu ziehen - abgesehen von ganz kleinen staubähnlichen Spänen, die nicht ausgemessen sind. (Dies zeigt sich dann auch in der Größe des kleinsten Spanes in der Tabelle.) Viele Versuchsbedingungen waren hier auch anders: Schleiferumfang, Schnittgeschwindigkeit, Lagerung.

Beachtenswert bleibt jedoch, wenn man auch große Schwankungen annimmt, ein Vergleich zwischen den Schnittgeschwindigkeiten und den Spandurchschnittmaßen von Nr.137, 32, 33, 36, 37. Die Schnittgeschwindigkeit bei Nr. 32 ist fast doppelt so groß wie bei Nr. 137, der Spandurchschnitt jedoch weniger als halb so groß. Verf. sieht dies als Vorteil der starren Schleiferhalterung beim Kerr-Winkelstück gegenüber dem Plastik-Futter beim Airotor an. Der größere Schleifer bei Nr. 32 hätte eher ein gegenteiliges Ergebnis erwarten lassen. ...

Unterschiedliche Korngröße der Schleifer, wie sie möglich wäre -, sie wurde nicht nachgeprüft - hält Verf. für nicht so wesentlich wie A d o l p h in seinen Untersuchungen an Zahnschlifflächen (DZZ Nr.13 von 1958,3).

Versuche Nr. 36 und 37, die fast mit der gleichen Schnittgeschwindigkeit des Airotors durchgeführt wurden, - 20 m/sec zu 25 m/sec - ergaben ein erstaunlich kleines Maß für den Durchschnittsspan (3,9 x 6,2 zu 16,1 x 31,2). Da dieser beim Airotor etwa viermal so groß ist, ist die starre Imperatorgleitlagerung, wie auch schon vorher betont, der Plastik-Futter-Fassung, die sich ausweiten kann,überlegen.

Die geringere tatsächliche Vibration (nicht zu verwechseln mit der bei höheren Tourenzahlen geringer empfundenen Vibration) ist ärztlicherseits zu beachten.

Die Firma M e i s i n g e r sagt in den "Informationen" Nr.7 vom 15.5.1959 (40) folgendes: "Die FG Bohrer sind verhältnismässig rundlaufgenau gefertigt, und erst die Rundlaufungenauigkeit der FG Bohrerspannvorrichtung (Plastik-Futter oder Metallspannzange) zusammen mit dem Kugellagerspiel der Turbine verleihen dem FG Bohrer unter Einwirkung der Fliehkraft während der Rotation eine mehr oder weniger große Rundlaufabweichung. Eine bestimmte Rolle spielt dabei auch eine Art "Rückstoß", dem die Schneiden des Bohrerkopfes beim Aufprall auf den Zahn ausgesetzt sind".- Das Zitat für die Hartmetallbohrer trifft auch in Grenzen für das Schleifen mit dem Airotor zu.- Die Histologie der Pulpa und des Parodontiums wird hierbei das letzte Wort haben.

Die 4 Messungen mit 40 000 U/min ( zwei mit dem Kerr-Winkelstück, zwei mit dem Imperator), die im Durchschnittsspan und auch im größten Span etwa gleiche Werte ergeben (der größte Span bei Nr. 34 könnte leicht ein falsches Bild geben, er ist als einziger in dieser Größe vorhanden), berechtigen zu dem eben gezogenen Vergleich.--- Das geringere Größerwerden des Durchschnittsspanes beim Kerr-Winkelstück hängt sicher damit zusammen, daß hier die Lagerung des Schleiferschaftes kürzer ist als beim Imperator.

Eine kritische Grenze der Umdrehungszahl bei großen Schleifern liegt bei 40 000 U/min (Nr.36 und 37).

40 000 U/min, die mit dem Kerr-Winkelstück erreicht wurden, waren für die Lagerung des großen Schleifers zu groß.

40 000 U/min sind in der Imperatorlagerung als Belastungsgrenze des Materials - von der Firma angegeben - und auch als kritischer Punkt bei der Vibration aufzufassen.

Bei dieser Tourenzahl und dem großen Schleifer beginnen die beiden Größen der Späne.

Theoretisch müßte der Durchschnittsspan mit ansteigender Umdrehungszahl wegen der geringen Eindringtiefe des einzelnen Schleifkornes kleiner werden. Da er aber größer wird (bei 80 000 U/min) oder da überhaupt zwei Arten von Spänen entstehen, ist als Zeichen dafür anzusehen, daß die Materialtoleranzgrenze, in bezug auf Gleitlager (Imperatorhandstück) - die Kugellager liegen ja nicht direkt am Schleifer - und in bezug auf eine Grenze für große Schleifer erreicht ist.

Ganz besonders neigt die Kunststoffassung des Schleifers im Airotor dazu, Schwingungen sich bilden zu lassen, die dann zu einem großen Maß des Durchschnittsspanes führen, wie bei Nr. 137 im Vergleich zu Nr. 32.

Jede Umdrehungszahl in einer bestimmten Lagerung des Schleifers wird in einem bestimmten Verhältnis zum Durchmesser des Schleifers stehen müssen, um die Zentrifugelkräfte und damit die Vibration des Instrumentes zu beherrschen.

Zu dieser Frage werden noch viele Arbeiten notwendig sein, um mit mathematischer Exaktheit Umdrehungszahl, Schleiferdurchmesser und Leistung bei geringster Vibration in ein optimales Verhältnis zu bringen.

Vom ärztlichen Standpunkt aus kann, wie schon am Anfang dieser Arbeit betont wurde, das Problem der Vibration nicht als gelöst gelten, wenn die Parodontalnerven die Vibration nicht als Schmerz weiterleiten. Es muß erst geklärt werden, wie Parodont und Pulpa histologisch auf die Vibration reagieren.

Bei den beiden Messungen bei 20 000 U/min (Nr. 38 Abb.11 und Nr.39) war der Durchschnittsspan größer. Das entspricht auch der Theorie. Die geringere Schnittgeschwindigkeit läßt dem Diamantkorn bei ausreichendem Druck mehr Zeit, in das Material einzudringen. Die Späne sind größer.

Es wäre in diesem Zusammenhang zu erwägen, ob nicht ähnliche Einrißsprünge vom einzelnen Diamantkorn aus in den Schmelz hinein entstehen, wie beim Glas. Diese könnten neben dem Schlagen des Instrumentes zum Herausbrechen von größeren, kompakten Brocken und somit zu größeren Spänen führen.

Die drei Einzelversuche mit Glas (optisches Plattenglas SF 11 der Jenaer Glaswerke S c h o t t und Gen.,Mainz ) bringen gewisse Differenzierungen des Verhaltens von Zahnhartsubstanzen zu Glas, können aber obige Frage nicht klären.

Muschelförmige Späne wie beim Glas, die auf tiefere Einrisse ins Material schliessen lassen, sind beim Schmelz im Rahmen dieser Versuche jedenfalls nicht zu beobachten gewesen.

Die Wiederholung eines jeden Versuches mit der halben Schleifzeit sollte klären, ob die Zeit auch eine Änderung der Spangröße bringt; 0,5 sec. reicht nicht aus, um den Schleifer voll zur Wirkung zu bringen, denn bei 1 sek. (bei Nr. 32, 34, 36) sind die Durchschnittsspäne jeweils größer als bei den dazugehörigen Vergleichsversuchen in der halben Zeit. Es kann aber nicht bewiesen werden, daß der Schleifer bei 1 sek. schon sein Höchstmaß an Wirkung erreicht hat. Diese kurze Zeit mußte jedoch gewählt werden, um die Spanmenge im Hinblick auf die Ausmusterung und Zählung klein zu halten und um Zusammenballungen zu vermeiden.

Nr. 38 (Abb.11) ist das letzte gut brauchbare Bild, wegen der Anzahl und gleichmässigen Größe der Späne. Bei den folgenden niederen Tourenzahlen "rutschte der Schleifer durch", wie die Industrie den Zustand bezeichnet, wenn ein Stein nicht mehr "faßt". - 20 000 U/min müssen somit als unterste Grenze bei 20 g Druck gelten. Der Druck sollte nicht wesentlich erhöht werden, um die Versuchsbedingungen innerhalb der Reihe nicht zu ändern. Die Verdoppelung des Druckes bei Nr. 42, 43, 44 (Abb.12) brachten jedoch auch noch keine Änderung. Obgleich die wenigen Späne ausgemessen wurden, ist den Ausmessungen kein großer Wert beizulegen.- Die Größenschwankungen der Späne um das 10fache und mehr sind für Vergleiche nicht brauchbar.

Der größte und der kleinste Span wurden mit dem Auge an der Leinwand bestimmt und ausgemessen. Bedeutung kommt diesen Maßen nicht zu, es sei denn, daß man zwischen den Durchschnittsmaßen und dem größten Span eine Spanne der

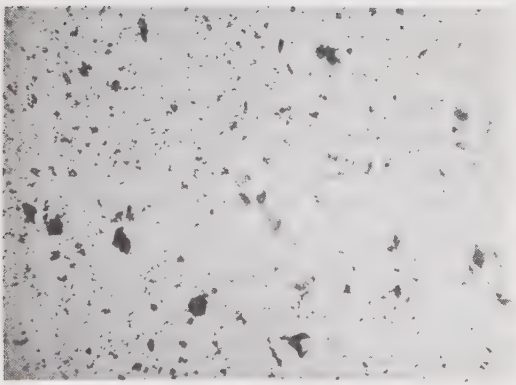
Schwankung nach oben bestimmt. Eine gewisse Parallelität zwischen beiden Maßreihen besteht jedoch.

Eine Ausschnittsvergrößerung des Präparates Nr.38 (siehe Bild) zeigt deutlich die spanbildende Arbeitsweise des Diamanten auf Schmelz. Die Späne sind wohl wesentlich kleiner als die der Fräse auf Dentin. Sie halten aber einem Vergleich stand, da sie auch seitliche Rißlinien und die viereckige Form der Frässpäne besitzen.

IV. Abbildungen

Abb.8, Nr. 137
Airotor,Drehzahl: etwa 250 000 U/min, 1 sec, 20 g; V = 100 x

Abb. 9, Nr. 33
Kerr-Winkelst., 80 000, 0,5 sec, 20 g; V = 100 x



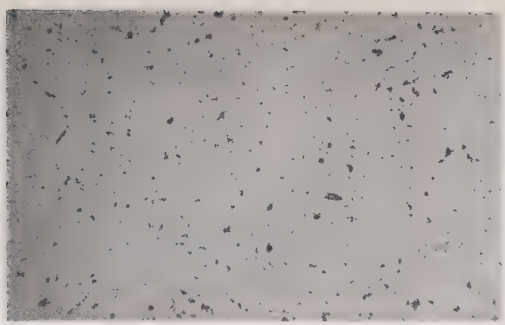


Abb.10, Nr.35 40 000 U/min, Kerr-Winkelst.;
0,5 sec, 20 g; V = 100 x

Abb.11, Nr.38 Imperator mit Reibrad-Schnelltrieb,
20 000 U/min, 1 sec, 20 g; V = 100 x

Abb.12, Nr.44 Imperator, 5 000 U/min; 5 sec, 40 g;
V = 100 x

## 2. Versuchsreihe

### Schleifversuche mit Diamantenschleifer auf Dentin

Es wurden die drei in der 1. Versuchsreihe benutzten Schleifkörper gebraucht.
Der Airotor-Versuch Nr. 138 wurde unter den gleichen Bedingungen wie Nr. 137 durchgeführt.

| Versuch Nr. | 45 | 46 | 47 |
|---|---|---|---|
| 1.Dreieck oben Mitte | 22 x 17 | 26 x 13 | 18 x 7 |
| | 19 x 12 | 7 x 3 | 11 x 7 |
| | 8 x 7 | 6 x 3 | 1 x 1 |
| | 14 x 9 | 2 x 2 | 9 x 3 |
| | 21 x 20 | 51 x 38 | 16 x 12 |
| 2.Dreieck rechts | 8 x 4 | 12 x 3 | 32 x 13 |
| | 27 x 24 | 3 x 3 | 28 x 22 |
| | 32 x 30 | 7 x 5 | 9 x 7 |
| | 22 x 21 | 5 x 4 | 42 x 40 |
| | 8 x 7 | 11 x 7 | 7 x 6 |
| 3.Dreieck unten Mitte | 6 x 4 | 48 x 16 | 22 x 10 |
| | 15 x 14 | 23 x 21 | 16 x 9 |
| | 4 x 3 | 4 x 3 | 9 x 9 |
| | 3 x 3 | 19 x 12 | 35 x 26 |
| | 13 x 17 | 48 x 38 | 12 x 11 |
| 4.Dreieck links | 4 x 4 | 38 x 34 | 35 x 12 |
| | 26 x 18 | 3 x ? | 37 x 14 |
| | 7 x 3 | 12 x 7 | 12 x 8 |
| | 3 x 3 | 25 x 17 | 1 x 1 |
| | 33 x 7 | 7 x 5 | 6 x 3 |
| Summe: | 295 x 217 | 357 x 236 | 358 x 221 |
| Durchschnittsgröße: | 14,8 x 10,9 | 17,9 x 11,8 | 17,9 x 11,1 |
| kleinster Span: | 2 x 3 | 1 x 1 | 1 x 1 |
| größter Span: | 30 x 32 | 51 x 38 | 42 x 40 |

| Versuch Nr. | 48 | | 49 | | 50 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 Messungen im ganzen Bild | 22 x 8 | | 35 x 17 | | 28 x 23 | |
| | 34 x 23 | 1.Dreieck oben Mitte | 32 x 12 | | 26 x 7 | |
| | 6 x 5 | | 14 x 6 | | 18 x 8 | |
| | 55 x 10 | | 6 x 4 | | 4 x 3 | |
| | 32 x 27 | | 14 x 10 | | 16 x 9 | |
| | 12 x 11 | | 22 x 20 | | 28 x 12 | |
| | 17 x 7 | 2.Dreieck rechts | 24 x 21 | | 16 x 8 | |
| | 76 x 25 | | 19 x 4 | | 32 x 8 | |
| | 43 x 21 | | 37 x 26 | | 7 x 4 | |
| | 45 x 21 | | 2 x 2 | | 65 x 32 | |
| | 7 x 4 | | 17 x 8 | | 24 x 10 | |
| | 4 x 3 | 3.Dreieck unten Mitte | 18 x 7 | | 11 x 5 | |
| | 14 x 12 | | 11 x 9 | | 30 x 29 | |
| | 4 x 3 | | 18 x 15 | | 14 x 8 | |
| | 4 x 4 | | 12 x 4 | | 72 x 18 | |
| | 12 x 9 | | 8 x 6 | | 12 x 7 | |
| | 3 x 3 | 4.Dreieck links | 9 x 9 | | 14 x 12 | |
| | 4 x 3 | | 22 x 15 | | 40 x 9 | |
| | 4 x 4 | | 19 x 9 | | 9 x 7 | |
| | 3 x 2 | | 38 x 9 | | 70 x 30 | |
| Summe: | 401 x 205 | | 377 x 213 | | 536 x 249 | |
| Durchschnittsgröße: | 20,1 x 10,3 | | 18,9 x 10,7 | | 26,8 x 12,5 | |
| kleinster Span: | 3 x 2 | | 2 x 2 | | 3 x 4 | |
| größter Span: | 76 x 25 | | 37 x 26 | | 30 x 70 | |

Bemerkung: Dieses Bild hat nur wenig mehr als 20 Späne. Sie wurden ohne Leinwandeinteilung ausgezählt.

| Versuch Nr. | 51 | 52 | 53 |
|---|---|---|---|
| 1.Dreieck oben Mitte | 10 x 6 | 32 x 17 | 36 x 23 |
| | 50 x 16 | 17 x 15 | 10 x 7 |
| | 7 x 6 | 4 x 3 | 20 x 18 |
| | 31 x 17 | 12 x 10 | 16 x 8 |
| | 18 x 16 | 6 x 4 | 18 x 15 |
| 2.Dreieck rechts | 42 x 9 | 62 x 17 | 26 x 22 |
| | 42 x 30 | 2 x 1 | 53 x 36 |
| | 24 x 14 | 18 x 3 | 62 x 23 |
| | 16 x 7 | 7 x 5 | 17 x 15 |
| | 32 x 13 | 27 x 8 | 10 x 8 |
| 3.Dreieck unten Mitte | 35 x 24 | 10 x 7 | 13 x 6 |
| | 32 x 4 | 16 x 12 | 13 x 7 |
| | 16 x 7 | 18 x 13 | 32 x 28 |
| | 9 x 7 | 20 x 10 | 58 x 36 |
| | 24 x 9 | 7 x 6 | 28 x 22 |
| 4.Dreieck links | 34 x 27 | 22 x 10 | 10 x 6 |
| | 7 x 6 | 3 x 2 | 10 x 7 |
| | 28 x 17 | 10 x 8 | 68 x 18 |
| | 57 x 28 | 15 x 13 | 7 x 6 |
| | 7 x 5 | 26 x 7 | 7 x 7 |
| Summe: | 521 x 268 | 334 x 171 | 514 x 318 |
| Durchschnittsgröße | 26,1 x 13,4 | 16,7 x 8,6 | 25,7 x 15,9 |
| kleinster Span: | 7 x 5 | 2 x 1 | 6 x 7 |
| größter Span: | 57 x 28 | 62 x17 | 85 x 45 |

| Versuch Nr. | 54 | 55 | 56 |
|---|---|---|---|
| 1.Dreieck oben Mitte | 5 x 4 | 67 x 39 | 41 x 17 |
| | 20 x 17 | 43 x 39 | 43 x 20 |
| | 54 x 22 | 12 x 11 | 2 x 2 |
| | 24 x 22 | 30 x 17 | 7 x 6 |
| | 57 x 27 | 37 x 20 | 30 x 22 |
| 2.Dreieck rechts | 34 x 19 | 9 x 4 | 22 x 18 |
| | 18 x 13 | 61 x 28 | 6 x 3 |
| | 33 x 17 | 34 x 22 | 17 x 16 |
| | 38 x 37 | 24 x 22 | 37 x 16 |
| | 12 x 11 | 37 x 32 | 16 x 13 |
| 3.Dreieck unten Mitte | 68 x 36 | 2 x 1 | 27 x 16 |
| | 4 x 4 | 56 x 22 | 21 x 19 |
| | 30 x 29 | 4 x 3 | 33 x 13 |
| | 19 x 12 | 9 x 7 | 42 x 12 |
| | 32 x 30 | 39 x 12 | 21 x 15 |
| 4.Dreieck links | 12 x 4 | 30 x 22 | 28 x 20 |
| | 47 x 24 | 51 x 37 | 30 x 21 |
| | 50 x 48 | 2 x 1 | 7 x 6 |
| | 62 x 26 | 54 x 28 | 43 x 9 |
| | 25 x 24 | 41 x 26 | 45 x 24 |
| Summe: | 644 x426 | 642 x 393 | 518 x 287 |
| Durchschnittsgröße: | 32,2x21,3 | 32,1x 19,7 | 25,9x 14,4 |
| kleinster Span: | 4 x 4 | 2 x 1 | 2 x 2 |
| größter Span: | 68 x36 | 67 x 39 | 24 x 45 |

| Versuch Nr. | 57 | 138 |
|---|---|---|
| 1.Dreieck oben Mitte | 7 x 6<br>12 x 9<br>30 x 13<br>9 x 4<br>5 x 4 | 10 Messungen ohne Dreieckseinteilung, wegen geringer Anzahl der Späne.<br>16 x 5 |
| 2.Dreieck rechts | 28 x 12<br>26 x 22<br>3 x 2<br>12 x 7<br>44 x 13 | 4 x 3<br>12 x 8<br>10 x 6<br>20 x 13<br>6 x 6 |
| 3.Dreieck unten Mitte | 16 x 4<br>3 x 2<br>33 x 14<br>24 x 8<br>19 x 7 | 11 x 4<br>11 x 8<br>8 x 3<br>6 x 3<br>104 x 59 |
| 4.Dreieck links | 53 x 23<br>4 x 4<br>5 x 4<br>9 x 6<br>16 x 4 | |
| Summe: | 358 x 168 | 104 x 59 |
| Durchschnittsgröße: | 17,9 x 8,4 | 10,4 x 5,9 |
| kleinster Span: | 2 x 3 | 4 x 3 |
| größter Span: | 23 x 53 | 20 x 13 |

Diskussion der zweiten Versuchsreihe.

Beim Schleifen auf Dentin waren die Ergebnisse nicht so überzeugend wie beim Schleifen auf Schmelz. Das Diamantschleifen von Dentin ist bis heute noch umstritten, erst das hoch-und höchsttourige Arbeiten und das Schleifen unter Spray haben hierin eine positive Wendung gebracht. Ein schlechter Spanabtransport und damit ein "Verschmieren" des Diamanten ist bei niedriger Tourenzahl und ohne Spray verständlich. Es konnte durch diese Versuche bestätigt werden, daß das hochtourige Schleifen erst eine größere Spanmenge bringt und damit wirtschaftlich ist.

Unter 40 000 U/min war die Schnittgeschwindigkeit zu gering, um viel Späne zu erzeugen (Abb.13 und 14). Die Tourenzahlen unter 40 000 lassen das einzelne Diamantkorn in längerem Kontakt mit dem Dentin und führen so zur Bildung von sehr schönen Spänen. Diese Späne ähneln sehr den Spänen, die beim Fräsen von Dentin entstehen, nur daß sie um ein Vielfaches kleiner sind. Sie haben genau dieselben gezackten seitlichen Rißlinien und auch Querstauchungen. Ausschnittsvergrösserungen der Bilder Nr. 50, 51, 54 zeigen solche Späne. Die spanabhebende Wirkung des Diamanten bei Dentinbearbeitung kann damit als bewiesen gelten (Abb.14).

Die Durchschnittsspangröße war bei sämtlichen Versuchen annähernd gleich und nicht wie bei Versuchsreihe 1 um ein Vielfaches unterschiedlich. Die Unterschiede waren so gering und auch nur bei Nr. 56, 57 (Abb.16) und 138 (Abb.17) augenscheinlich, daß man nur bedingt Schlüsse daraus ziehen kann. Die fast gleichgroße Durchschnittsspangröße bei allen Versuchen, auch bei Nr. 45, 46 (Abb.13), 47, bei denen der Druck verdoppelt war, ist ein Zeichen dafür, daß das einzelne Diamantkorn bis zu seinem Übergang in das Bindematerial des Schleifers ins Dentin eingedrungen war und nicht weiter eindringen konnte.

Insgesamt sind die Maße der Späne größer als beim Schmelz.

Erst bei den Versuchen Nr. 56, 57 (Abb.16) und 138 (Abb.17) wird der Durchschnittsspan etwas kleiner. Bei Nr.56 und 57 liegt es daran, daß durch die sehr große Schnittgeschwindigkeit die Eindringtiefe bei gleichbleibendem Druck nicht mehr so groß ist.

Bei Nr. 138 (Abb.17) kann die Ursache der kleinen Späne sein, daß der kleine Schleifer mit seinem geringen Radius das Diamantkorn schnell wieder aus dem Dentin hebt. Bei 54,55 sind die Späne kompakter und auch etwas größer. Die Schwingung des Schleifers und damit seine schlagende Wirkung, ist als Ursache dafür anzunehmen, da die Lagerung des Schleiferschaftes nicht so lang wie bei Nr. 52 und 53 ist.

Die unterschiedliche Schleifzeit bringt bei den Versuchen Nr. 52,53 und 56,57 beachtliche Schwankungen in der Durchschnittsspangröße. Eine gemeinsame Ursache läßt sich jedoch nicht feststellen.

Daß nicht zwei Arten von Spänen bei den einzelnen Versuchen entstehen, kann man durch das weiche Dentin erklären. Der härtere Schmelz bei der ersten Versuchsreihe wirkte auf geringe Schwingungen noch spanvergrössernd.

Die Spanne zwischen Durchschnittsspan und dem größten Span ist geringer als bei der ersten Versuchsreihe. Dies läßt auf einen ruhigeren Lauf des Instrumentes, bedingt durch das weiche Dentin, schliessen.

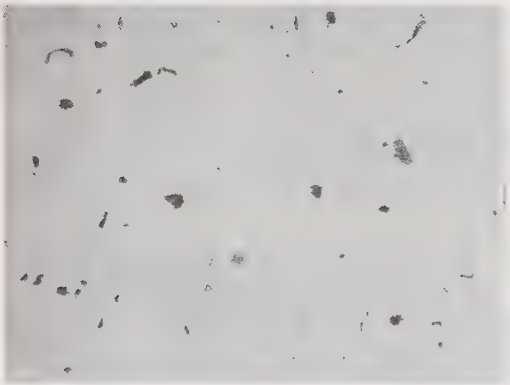
Bei den Versuchen Nr. 45 bis 51 war das Verhältnis Schnittgeschwindigkeit zu Druck zu klein, um zu einem günstigen Abschliffergebnis zu kommen.

Eine Zweischichtigkeit der Späne am Deckglas und Objektträger ist bei dieser Versuchsreihe nicht feststellbar. Der größere Durchschnittsspan reicht wohl von der einen bis zur anderen Begrenzung, oder die positive Auflagerung des Glases reicht nicht aus, um die Späne anzuziehen.

IV. Abbildungen

Abb.13, Nr. 46

Imperator, 5 000 U/min
0,5 sec, 40 g
V = 100 x



Scherspan!

Abb.14, Nr.51

Imperator mit Übersetzung, 20 000 U/min
1 sec, 20 g
V = 100 x

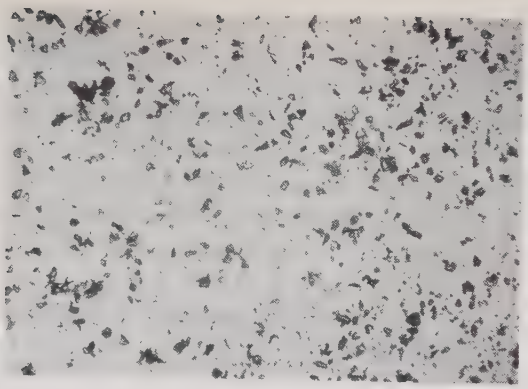


Abb.15, Nr. 52 Imperator mit Übersetzung, 40 000 U/min; 0,5 sec, 20 g; V = 100 x

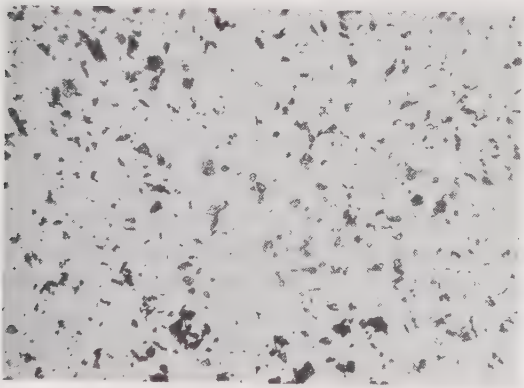


Abb.16, Nr.57 Kerr, 80 000 U/min, 1 sec, 20 g; V = 100 x

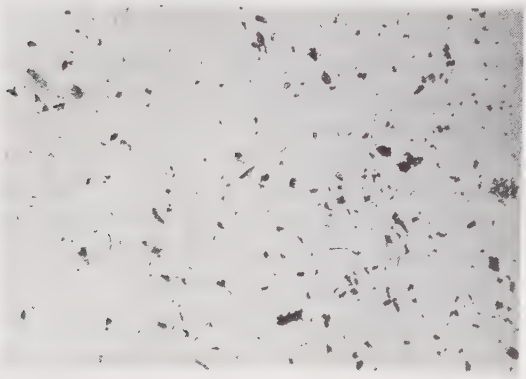


Abb.17,Nr.138 Airotor 250 000 U/min, 1 sec.,20 g; V = 100 x

## 3. Versuchsreihe

### Fräsversuche mit Hartmetallrosenbohrer auf Dentin.

Für alle Versuche, bis auf die letzten acht, wurde der Hartmetallbohrer Nr.3 (6 Schneiden, die mittlere durchgehend und erhöht) von der Firma H a g e r & M e i s i n g e r in Imperatorlagerung in einem kugelgelagerten Imperatorhandstück verwendet. Für die Versuche bei 80 000 U/min stand ein Rosenbohrer gleichen Durchmessers für das Kerr-Winkelstück zur Verfügung. Dieser hat jedoch 8 Schneiden und keine zentrale Schneidenerhöhung. Die Schnittgeschwindigkeit war daher beim Bohrer mit 8 Schneiden größer als beim Bohrer mit 6 Schneiden. Die beiden letzten Versuche mit dem Airotor wurden wieder mit dem Meisinger Bohrer F.G. Nr. 3 gemacht. Wenn die Späne näher bezeichnet worden sind, so war bei der Projektion die Nr. der Negativplatte immer oben rechts.

Eine Bildschirmauswertung im Vergrößerungsmaßstab 1 : 1 000 (Objekt zur Bildschirmgröße) ist der folgenden tabellarischen Zusammenstellung nachgefügt. Die Nummern am Kopf sind die Präparatnummern. Es wurde in Zentimetern an der Leinwand gemessen; Die Tabelle ist eine gedrängte Zusammenfassung der Bildschirmauswertung.

In das Dentin wurde für jeden Versuch eine Stufe eingeschliffen, um dem fräsend angewendeten Bohrer eine gute rechtwinklige Angriffsmöglichkeit zu geben. Die Fräszeit betrug ( bis auf Versuche Nr. 134 Ia und Ib) jeweils 5 Sekunden. Substanzberührung geschah erst bei Erreichen der jeweiligen Umdrehungszahl.

Bemerkungen: Die einzelnen Maße der Späne wurden nicht wie in der 1. und 2. Versuchsreihe aufgeführt, weil sie besonders groß sind und häufig nur wenige auf einem Bild sind.

Präparat Nr. 74 (Abb.18)

Zwei Schichten sind feststellbar. Die geringe Spanmenge hängt mit dem geringen Druck und der geringen Schnittgeschwindigkeit zusammen. Der Span in der Mitte ist 16,5 lang und hat 2,8 größte Breite. Der Einriß an der breiten Stelle ist 2,4.

Präparat Nr. 75 (Abb.19)

Das Größerwerden der Späne ist durch die Verdoppelung des Druckes und die damit verbundene größere Scherwirkung zu erklären. Mit der Vergrößerung des Druckes ist ein tieferes Eindringen der Schneiden in die Zahnhartsubstanz möglich. Daraus ergeben sich dickere Späne. Die lichtdichte Zone inmitten der Späne ist ein Hinweis auf die Dicke des Spanes. Der große Span in der Mitte des Präparates zeigt deutlich an beiden Rändern eine poröse und in der Mitte eine dichte strukturlose Zone. Bei den anderen Spänen, auch bei kleinen, sind diese zwei Zonen ebenfalls zu erkennen. Die dichteren Zonen liegen immer mehr der Mitte zu. Die Länge des Spanes - 52 cm von unten links und 71 cm von der Ecke unten rechts - ist 14,5; Breite 5,5. Die Breite bei den Einrissen 4,5. Es sind Einrisse in der Mitte, die keine Querstauchungen darstellen.

Präparat Nr. 76 (Abb. 20)

Durch die nochmalige Verdoppelung des Druckes auf 80 gr. sind noch grössere Späne entstanden. Bei dem größten viereckigen Span ist eine Seite aufgerollt und zeigt dadurch wenig Struktur. Die Stauchungen innerhalb des Spanes verlaufen von einem gezackten Rand zum anderen. Sie sind als weiße breite Striche, die jeweils in den Zackenbuchten enden, gut zu erkennen. Quer dazu sind auch Stauchungslinien erkennbar, zum Teil sind sie unterbrochen. Eine Stauchungslinie an der unteren Seite des Spanes ist vollständig durchgehend. (Wird im folgenden stets als Längsstauchungen bezeichnet.)
Breite von Zacken zu Zacken 17,5 mm
Länge des Spanes 15,5 ohne die Einrollung.

Breite bei den äußeren Zacken 19.Tiefe der Einbuchtungen 1,5 - 2. Es sind 13 Einbuchtungen, etwa im gleichen Abstand voneinander, auf die ganze Länge des Spanes verteilt und gut erkennbar. Der andere zweitgrößte, viereckige Span zeigt Einrisse in der Mitte im Verlauf der Querstauchungen.

Präparat Nr. 80

Bei allen Spänen sind keine Stauchungserscheinungen sichtbar, auch sind die seitlichen Einrisse feingliedrig und klein. Die Dentinstruktur ist gut zu erkennen. Alle Späne haben Röllchenform, was auf eine gute Scherwirkung schliessen läßt. Der zweitgrößte, fast vollständig viereckige Span zeigt an beiden Seiten gleichmäßige kleine Einrisse. Es sind etwa 14 auf der einen Seite und 12 auf der anderen. Die Tiefe der Einrisse ist im Durchschnitt etwa 0,6. An die Einrißbuchten schließen sich keine Stauchungslinien an. Der Span ist 15,5 x 9,5. Das Verhältnis von Schnittgeschwindigkeit zu Druck ist optimal günstig, da keine Stauchungserscheinungen feststellbar sind.

Präparat Nr. 81

Die Späne sind kleiner als beim vorhergehenden Präparat, keinerlei Stauchungsmerkmale im Innern, jedoch quergerichtete Vakuolen in der Mitte oder an der Seite der Späne. Hier ist die Neigung zur Durchtrennung in Längsrichtung zu erkennen. Von den beiden großen Spänen, direkt in der Mitte, ist der größere 15 x 7 und hat am oberen Rand 9 Einrisse, die im Durchschnitt etwa 0,7 tief sind.

Präparat Nr. 82 (Abb.21)

Der Span in der Mitte zeigt Quereinrisse. Diese liegen übereinander und führten so zu Längsrissen. Im Innern sind keine Stauchungsmerkmale sichtbar. Größe des Spanes : 21 x 13. Der große, fast rechteckige Span an de-r rechten Kante zeigt ganz geringe Querstauchungen an der Seite der kleinen Einrisse

jedoch keine an der Seite der großen. Er ist 16 x 16 groß. Die kleinen Einrisse sind etwa 0,8, die großen etwa 2,1. Der längliche Span in der Ecke oben links ist 19 x 8.

Präparat Nr.82b (eine andere Stelle des gleichen Präparates).

Es treten keine Querstauchungen auf, aber Einrisse in der Längsrichtung der beiden einzigen Späne, die dicht vor einem Auseinanderbrechen sind. Beim kleinen Span ist der vollzogene Abbruch eines Teiles sichtbar. Beim großen Span kann ein Bruch in der Hälfte und dann noch ein zweiter in der Hälfte erkannt werden. Weiße Stellen inmitten des großen Spanes können nicht auf eine Stauchung zurückgeführt werden, sondern sind als eine größere Schichtdicke an diesen Stellen zu deuten.

Präparat Nr. 83

Der viereckige Span unten rechts zeigt im Innern lockere Struktur und auf der einen Seite eine ganz fein gezackte Ausrißlinie. Die feinen Zacken sind im Durchschnitt 0,3 tief. Der Span mißt 11 x 5.

Präparat Nr. 84 (Abb.22)

Auch hier sind noch keine Stauchungserscheinungen innerhalb der Späne sichtbar. Sie zerbrechen aber oft in der Längsrichtung ein-, zwei-, sogar dreimal. Typisch hierfür der Span an der oberen Längsseite, etwa in der Mitte.

Der Span etwa in der Mitte der oberen Längsseite (62 von der Ecke oben rechts und 54 von der Ecke oben links) ist 12 x 5,5. Die Einrisse an der inneren Seite sind im Durchschnitt 0,6. Die Einrißtiefe variiert jedoch sehr.

Präparat Nr. 85

Die Verdoppelung des Druckes auf 80 gr hat eine starke Vergrößerung der Späne zur Folge. Der einzeln liegende, beidseitig spitze Span auf der unteren Längsseite des Bildes ist 31 x 2,8. Die Stauchungen innerhalb der Späne sind durch verschiedene Transparenz feststellbar. Die spitzen Späne sind die Ergebnisse der Zersplitterungen längs der transversalen Druckzonen, wie u.a. bei einem Span an der oberen Längsseite gut feststellbar ist. Die seitlichen Einrisse sind 7,5 - 9 lang. Es ist deutlich zu sehen, daß diese Einrisse zur vollständigen Abteilung der spitzen Spanteile führen.

Präparat Nr. 86 (Abb.23)

Der größte, fast rechteckige einzelne Span oben links hat nur Querstauchungen in ganz gleichmässiger wellenförmiger Form. Längsstauchungen sind bei keinem Span feststellbar. Es zeichnen sich Längsdurchbruchstellen durch übereinander liegende flache Hohlräume ab. Der große Span auf der linken Seite in der Mitte ist etwa 21 x 14 groß. An einer Seite besitzt er 10 - 11 gleichmässige Einrisse in einer durchschnittlichen Tiefe von 1,2. Auf der äusseren Seite des Spanes ist die Rißlinie fast glatt. Die Einrisse sind hier im Durchschnitt nur 0,2 - 0,3 tief.

Präparat Nr. 87 (Abb.24)

Der große Span in der Mitte zeigt keinerlei Stauchungslinien. Er mißt 32 x 8 und zeigt Vakuolen in zwei Linien in Spanquerrichtung an der Spitze. Die 3 Einrisse an der breiten Seite sind im Durchschnitt 2,2 tief.

Präparat Nr. 88 (Abb.25 )

Querstauchungslinien sind in allen Spänen zu erkennen; Längsstauchungen treten nicht auf. Wakuolen in Längsrichtung sind kaum feststellbar. Der größte Span in der Mitte des Bildes mißt 39 x 6,5. Drei Einrisse an der einen Seite betragen im Durchschnitt 0,6. Diese feinen Einrisse können als glatter Bruch gewertet werden. Man könnte sie als "Feineinrisse in dem Abbruchstück bezeichnen. Die tiefen Einrisse, die zu den Abbruchstücken führen, erkennt man an dem Span links darunter, der Einrisse bis zu 7 zeigt.

Präparat Nr. 89

Stauchungen im Inneren sind nicht zu beobachten. Der rechteckige Span in der Mitte mißt 7 x 5,5, die Einrisse im Durchschnitt 0,5.

Präparat Nr. 90

Querstauchungen beginnen sich gerade abzuzeichnen, jedoch nur ganz gering. Der große rechteckige Span von den drei neben einanderliegenden (51 von Ecke oben links, 29 von Ecke unten links) mißt 5,5 x 7,5. Die Einrisse sind im Durchschnitt 0,9 tief.

Präparat Nr. 91

Herausgerissene Brocken ohne Stauchungen treten auf und haben wenig seitliche Einrisse, mit Tiefen von 1,5 bis 2. Der längliche Span oben rechts mißt 11 x 2,5.

Präparat Nr. 92

Der größte, fast rechteckige Span mißt 27 x 19 und zeigt Querstauchungen und Vakuolen. Diese zeigen an, daß der Druck von 20 gr. bei 80 000 Touren noch zu groß ist. Es kann aber auch der stumpfe Winkel des Kerrbohrers mit 8 Schneiden die Ursache sein. Die seitlichen Einrisse bei dem Span sind un-

gleichmässig und zeigen eine durchschnittliche Tiefe von 2,5. Die anderen Späne zeigen stark zerrissene Ränder.

Präparat Nr. 93

Der längste Span in der Mitte unten im Bild mißt 32,5 x 4. Die Struktur im Innern ist verschwommen und läßt auf starke gesamte Stauchung des Spanes schließen. Der tiefe Einriß auf der einen Seite des Spanes mißt 3,5. Die anderen Späne haben ähnliche Gestalt.

Präparat Nr.93/I (andere Stelle des gleichen Präparates)

Die herausgeschlagenen Späne ähneln sehr den Diamantschleifspänen. Die Maße des großen Spanes in der Mitte sind: 5,5 x 2,8.

Präparat Nr. 94 (Abb. 26)

Beim Druck von 80 gr. treten Stauchungen des gesamten Spanes auf und beseitigen fast vollständig die innere Struktur. Gut sichtbar ist, daß die großen Späne in einzelne kleine zerfallen. Der größte Span mißt 36 x 17. Die seitlichen Einrisse sind 4,5 und mehr tief.

Nr. 134 Ia (Abb.28 und 29)

Airotor: niedrigste Touren (ca. 250 000 U/min in Leerlauf).
Hartmetall-Rosenbohrer (Meisinger Nr. 3)
Fräsen auf Dentin 20 gr. 1 Sekunde.

Die Dentinspäne sind teils lang, schmal und gerade, teils klein und länglich. Der längste Span ist 14,5 x 1,2, der größte in der Aufsicht 4 x 5. ---

10 andere Späne messen:

| | | |
|---|---|---|
| 1,8 | x | 1,2 |
| 2,5 | x | 1,1 |
| 1,9 | x | 0,9 |
| 2,6 | x | 0,7 |
| 1,8 | x | 1,4 |
| 2,8 | x | 2,1 |
| 2,3 | x | 1,3 |
| 0,9 | x | 0,5 |
| 2,5 | x | 0,7 |
| 1 | x | 0,7 |

Durchschnittsgröße:
2,01 x 1,06

größter Span:
2,8 x 2,1

Nr. 134 Ib

Versuchsbedingungen wie bei Nr. 134 Ia.

Dieses Bild zeigt deutlich den Zerfall eines großen Dentinspanes in mehrere längliche, nadelförmige Späne. Der Span ist 34 x 13. Querstauchungen sind klein.

Diskussion der dritten Versuchsreihe.

Das Fräsen mit Hartmetallbohrern auf Dentin brachte eindrucksvolle Bilder von Spänen, die von Versuch zu Versuch zu wesentlichen Schlüssen berechtigen.

In den benutzten Drehzahlbereichen brachten jeweils drei Versuche mit verdoppeltem Druck eine Vergrößerung des Spanes, wie zu erwarten war. Man kann sie aus der Tabelle beim größten und mittleren Span ablesen.

Es entstanden Scherspäne mit und ohne Stauchungsmerkmale des Dentins, mit und ohne Einrisse im verdichteten Material und mit gezackten Ausrißlinien an beiden Seiten. Die Zackengröße und Tiefe waren von verschiedenen Einwirkungen, die im folgenden näher bestimmt werden sollen, hauptsächlich aber von der Stärke der Späne abhängig.

Bei 5 000 U/min war bei Nr. 74 (Abb.18) der Druck zu gering, um zu einer ausreichenden Spanung zu gelangen. Es muß angenommen werden, daß die Fräse nicht "faßte".

Bei Präparat Nr. 75 (Abb. 19) sind die Späne recht spitz und dünn und zeigen ebenso wie Nr. 74 keine Stauchungszonen, erst bei Nr. 76 (Abb.20) machen sich Querstauchungen bemerkbar. Dies ist ein Zeichen dafür, daß nun der Druck im Verhältnis zur Schnittgeschwindigkeit schon zu groß ist.

Erstrebenswert ist der Span, der ohne sichtbare Stauchungserscheinungen kein zu großes Ausmaß, besonders in seiner "Stärke", besitzt und in großer Menge erzielt wird.

Geringe Stauchungen muß es bei jedem Scherspan geben. Die Substanz wird von der Schneide immer etwas gestaucht, bevor sie auf der Schneidenfläche abgleitet. Die Stauchung wird natürlich am geringsten bei einer sehr spitzwinkligen Schneide sein. Verf. war daher auch dem Hartmetallbohrer gegenüber recht kritisch eingestellt, da bei diesem der

Schneidekantenwinkel aus Gründen der Materialfestigkeit - die Sin termetalle sind recht spröde - stumpfer ist. Die Versuche mit 10 000, 20 000 und zum Teil auch noch bei 40 000 U/min bewiesen jedoch, daß bei 10 000 U/min keine und mit ansteigender Tourenzahl nur geringe Querstauchungen sichtbar waren, das heißt: die Stöße auf den Zahn sind gering und damit auch die Vibration des Zahnes.

Dünne weiße Streifen in Längsrichtung des Spanes, die hier als "Längsstauchungen" bezeichnet werden, sind schwer zu erklären. Es sei denn, sie entstehen durch Stauchung des Spanes (evtl. durch eine sehr stumpfe Stelle der Schneide) während seines Ablaufens. Da sie nur bei 5 000 U/min auftreten, besonders bei Nr. 76 (Abb. 20), kommt ihnen keine sehr große Bedeutung zu.

Bei 10 000 U/min. (Abb.21) sind die Späne bei den drei Versuchen fast als geometrisch geformt anzusprechen. Die seitlichen Rißlinien sind sehr gleichmässig. Ihre Tiefe hängt sicher mit der wechselnden Festigkeit des Dentins und mit der Stärke des Spanes, dem Druck und der Schnittgeschwindigkeit zusammen. Die Zusammenhänge konnten jedoch nicht ermittelt werden.

Auch eine Gesetzmässigkeit des Auseinanderbrechens der Späne in Längsrichtung, wie sie besonders bei Nr. 82 (Abb. 21), 82b und Nr. 86 (Abb.23) zu beobachten ist, konnte nicht gefunden werden. Es ist anzunehmen, daß der Span, da er ja durch die rundliche Schneidenform nicht gleichmäßig gestaucht wird, während des Ablaufens auf der Schneidenoberfläche in den übereinanderliegenden schmalen Hohlräumen einreißt.

Die größten Späne sind bei den Nr.86 (Abb.23), 87 (Abb.24), 88 (Abb.25) zu finden.

Der Kerr-Bohrer mit seinen 8 stumpfwinkligen Schneiden und höherer Schnittgeschwindigkeit ergab dann wieder sehr kleine Späne (Nr. 89, 90, 81).

Die spitzen Späne, wie sie besonders gut bei Nr. 85 und 94 (Abb.26) zu sehen sind, entstehen durch Auseinanderbrechen der großen Späne längs der Querstauchungszonen.

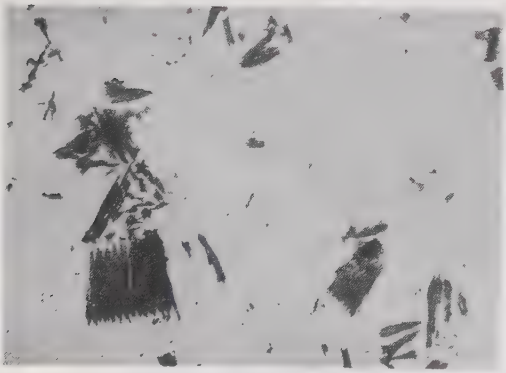
Die große Schnittgeschwindigkeit bei Nr. 92, 93, 94 (Abb.26) läßt sehr große Späne entstehen, aber ebenso groß sind solche bei Nr. 86 (Abb.23), 87 (Abb.24), 88 (Abb.25). Der Meisinger Rosenbohrer Nr. 3 mit seinen 6 Schneiden scheint gegenüber dem amerikanischen Kerr-Rosenbohrer gleicher Größe mit 8 Schneiden, aber stumpferen Schneidenwinkel einen gewissen Vorteil zu bieten.

Die beiden Bilder Abb. 28 und 29 (Nr. 134 Ia und 134 Tb) von dem gleichen Präparat mit dem Airotor zeigen den Zerfall eines großen Spanes in kleine Späne und außerdem kleine zerrissene spitze Späne zusammen mit gut zu unterscheidenden Schmelzbrocken, die der Bohrer zusätzlich erzeugte.

IV. Einzelne Abbildungen

Abb. 18, Nr. 74 Imperator, 5 000 U/min, 5 sec, 20 gr;
V = 100 x

Abb.19, Nr. 75 wie Nr. 74, nur 40 gr; V = 100 x



Das Ansteigen der Vorschubkraft zeigt bei den Bildern Nr.74,75, 76 ein deutliches Größerwerden der Späne.

Abb. 20, Nr.76 wie Nr.74,nur 80 gr; V = 100 x

Abb. 21, Nr.82 Imperator 10 000 U/min, 5 sec, 20 gr; V = 100 x

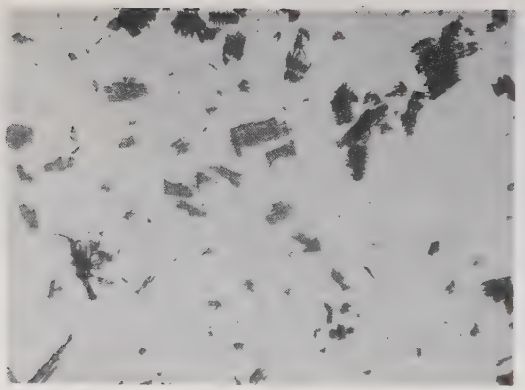


Abb. 22, Nr. 84 Imperator mit Schnelltrieb, 20 000 U/min, 5 sec, 40 gr; V = 100 x

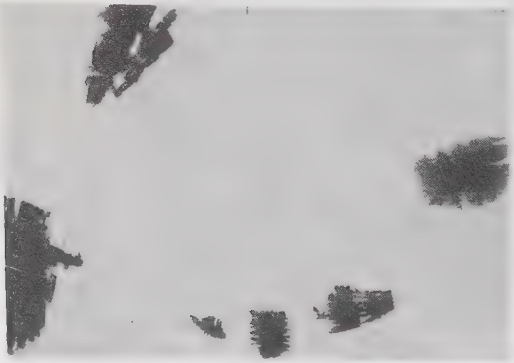


Abb.23, Nr. 86 Imperator mit Schnelltrieb, 40 000 U/min, 20 gr, 5 sec; V = 100 x

Abb. 24,Nr.87 wie Nr. 36, nur 40 gr; V = 100 x

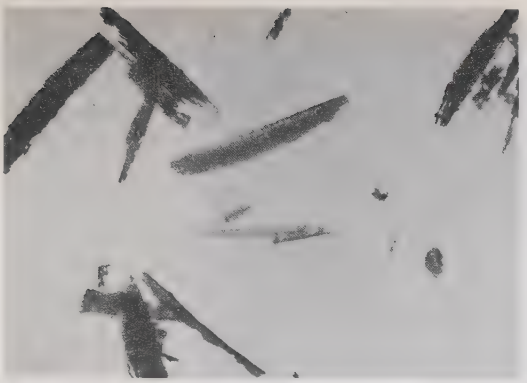
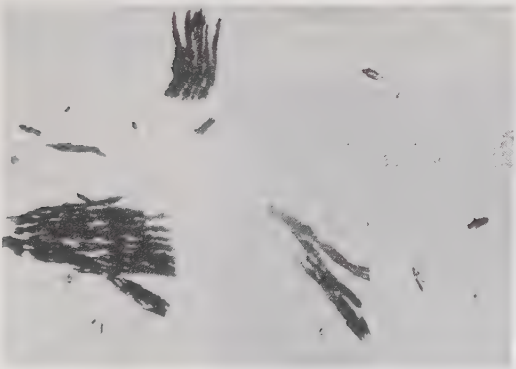
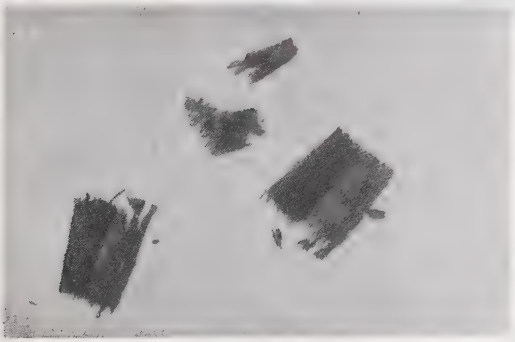


Abb. 25, Nr.88 Imperator mit Schnelltrieb, 40 000 U/min
5 sec, 80 gr; V = 100 x



Diese Späne zeigen deutliche Zerfallserscheinungen.

Abb. 26, Nr. 94 Kerr, 80 000 U/min, 5 sec, 80 gr, V = 100x



Bei diesem Bild ist die Relation zwischen Schnittgeschwindigkeit und Vorschubkraft als "ideal" anzusprechen. Ganz kleine Ausrißzacken, kaum Querstauchungen und Röllchenform.

Abb.27, Nr.80a (125-fache Vergrößerung!) Imp.10 000 U/min.
5 sec, 80 gr.

Abb. 28,Nr.134 Ia Airotor, 250 000 U/min, 1 sec, 20 gr, V = 100 x

Abb.29, Nr. 134 Ib Dieses Bild zeigt das gleiche Präparat wie 134 Ia, nur ist eine andere Stelle photographiert worden. Es zeigt deutlich einen großen Span, der im Begriff ist, in spitze, nadelförmige Späne zu zerfallen. V = 100x

## 4. Versuchsreihe

### Fräsversuche mit Hartmetallrosenbohrer auf Schmelz

Bohrer und Bohrerhalterungen sind die gleichen wie bei der dritten Versuchsreihe.

Die Fräszeit wurde bis auf zwei Versuche (mit 2,5 sec) auf 5 Sekunden erhöht, da die Spanmenge zu gering gewesen wäre, wie Vorversuche zeigten.

Der Druck betrug durchweg 160 Gramm und war damit achtmal erhöht. Verschiedene Versuche mußten wiederholt werden, da der Bohrer, durch den hohen Druck bedingt, über den Schmelz hinaus ins Dentin eingedrungen war.

Nr. 98

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2,1 x 1,8 | 3,4 x 3,2 | 0,6 x 0,3 | 1,4 x 1,2 |
| 1,0 x 0,8 | 3,2 x 0,8 | 3,2 x 1,8 | 0,8 x 0,6 |
| 1,4 x 1,1 | 1,6 x 1,1 | 0,6 x 0,4 | 0,6 x 0,5 |
| 0,1 x 0,1 | 1,7 x 1,1 | 0,5 x 0,3 | 1,1 x 1,0 |
| 0,2 x 0,1 | 0,2 x 0,1 | 0,4 x 0,4 | 0,4 x 0,3 |
| 1.Dreieck oben Mitte | 2.Dreieck rechts | 3.Dreieck unten Mitte | 4.Dreieck links |

Zwei Späne von 17,8 x 11,3 und 8,2 x 4,8 stehen völlig außerhalb der Norm.

Nr.100

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2,4 x 1,0 | 0,6 x 0,5 | 7,4 x 7,0 | 0,4 x 0,3 |
| 1,7 x 1,0 | 0,4 x 0,3 | 1,2 x 1,1 | 1,8 x 1,1 |
| 1,1 x 0,6 | 0,9 x 0,7 | 1,2 x 1,1 | 3,6 x 1,1 |
| 2,9 x 1,4 | 3,2 x 2,4 | 1,7 x 1,2 | 5,4 x 3,4 |
| 8,5 x 7,2 | 4,6 x 2,7 | 3,2 x 0,9 | 2,3 x 0,4 |
| 1.Dreieck oben Mitte | 2.Dreieck rechts | 3.Dreieck unten Mitte | 4.Dreieck links |

Eine Struktur innerhalb der Späne ist nicht feststellbar. Sie sind am Rande stark zerklüftet. Auch in der Größe besteht keine Gleichmässigkeit. Manche sehr groß erscheinenden Späne lassen die Annahme zu, daß ihr Bild aus Überlagerungen von vielen kleinen Spänen entstanden ist.

Nr. 101 (Abb.30)

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0,7 x 0,7 | 1,0 x 0,8 | 0,9 x 0,6 | 0,1 x 0,1 |
| 3,2 x 0,8 | 2,9 x 1,4 | 1,1 x 0,6 | 1,0 x 0,5 |
| 4,3 x 1,0 | 0,4 x 0,3 | 0,5 x 0,4 | 0,8 x 0,5 |
| 0,4 x 0,3 | 0,7 x 0,6 | 1,8 x 1,2 | 0,1 x 0,1 |
| 0,3 x 0,1 | 0,5 x 0,3 | 1,9 x 0,9 | 1,8 x 1,1 |
| 1.Dreieck oben Mitte | 2.Dreieck rechts | 3.Dreieck unten Mitte | 4.Dreieck links |

Auf diesem Bild sind auch Späne aus Dentin zu sehen, die auf den hohen Druck zurückzuführen sind. Sie wurden nicht ausgemessen. Von diesen Spänen abgesehen ist eine gleichmässige Größe feststellbar.

Nr. 102

Bei diesem Bild sind deutlich zwei Größen feststellbar. Die großen Späne sind wahrscheinlich herausgeschlagene Teilchen, die durch die Eigenvibration des Bohrers entstanden sind. Ein Übergang von einer zur anderen Größenordnung ist nicht feststellbar. Die äußere Struktur der Späne ist unverändert.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,6 x 0,6 | 0,7 x 0,3 | 4,5 x 3,5 | 4,8 x 1,7 |
| 0,7 x 0,4 | 0,6 x 0,6 | 3,2 x 2,2 | 5,8 x 1,2 |
| 1,9 x 0,4 | 1,0 x 0,6 | 8,6 x 2,6 | 3,6 x 1,5 |
| 0,6 x 0,3 | 1,0 x 0,5 | 4,4 x 1,7 | 3,7 x 3,0 |
| 1,2 x 0,5 | 0,7 x 0,3 | 6,2 x 2,0 | 4,4 x 1,1 |

Die beiden ersten Spalten gehören zu 10 wahllos gemessenen kleinen Spänen. Die beiden nächsten Gruppen enthalten die Maße von 10 großen Spänen.

Nr. 103 (Abb.31)

Auch bei diesem Bild ergeben sich zwei Spangrößen. Diese sind jedoch nicht so unterschiedlich wie im vorherigen Präparat. Man könnte von einem Übergang zwischen den beiden Größen sprechen. Es gehören mehr Späne zu einer kleinen Sorte als zur großen.

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,6 x 0,5 | 1,1 x 0,6 | 4,5 x 2,0 | 2,9 x 1,4 |
| 0,8 x 0,3 | 0,9 x 0,5 | 3,2 x 2,5 | 3,7 x 1,3 |
| 0,5 x 0,4 | 0,5 x 0,5 | 4,6 x 0,8 | 1,9 x 1,7 |
| 0,8 x 0,3 | 0,6 x 0,3 | 3,2 x 2,4 | 3,3 x 2,8 |
| 0,8 x 0,2 | 1,4 x 0,8 | 5,7 x 1,2 | 2,7 x 1,8 |

Die beiden ersten Spalten sind Maße von kleinen Spänen, die beiden nächsten enthalten 10 Messungen großer Späne.

Nr. 104 (Abb.32)

Die Späne dieses Bildes entstanden bei einer doppelt so langen Schleifzeit, sonst aber unter denselben Bedingungen wie bei Nr. 103. Es ergaben sich insgesamt weniger Späne und daher auch weniger große. Die beiden ersten Spalten enthalten Maße von kleinen, die beiden nächsten Spalten solche von großen Spänen.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1,0 x 0,4 | 0,3 x 0,2 | 4,3 x 1,6 | 2,6 x 1,8 |
| 0,9 x 0,7 | 0,7 x 0,7 | 3,5 x 0,8 | 2,3 x 1,4 |
| 1,1 x 0,6 | 0,3 x 0,3 | 2,6 x 1,3 | 2,4 x 1,3 |
| 0,6 x 0,6 | 0,7 x 0,4 | 2,1 x 1,6 | 2,9 x 0,4 |
| 0,9 x 0,5 | 0,7 x 0,4 | 5,3 x 2,5 | 2,7 x 1,3 |

Nr. 105(Abb.33)

Auch bei diesem Präparat sind zwei Größen zu unterscheiden. Auch hier könnte man von einer Übergangsgröße sprechen. An einer Längsseite des Bildes sind gehäuft große Späne. Die beiden ersten Spalten sind wieder die Maße der kleinen, die beiden nächsten die der großen Späne.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0,4 x 0,3 | 1,1 x 0,4 | 5,4 x 0,9 | 2,3 x 1,8 |
| 0,7 x 0,3 | 0,9 x 0,3 | 3,2 x 1,2 | 5,3 x 2,2 |
| 1,1 x 0,7 | 0,5 x 0,3 | 3,4 x 1,6 | 4,0 x 3,4 |
| 0,7 x 0,3 | 0,6 x 0,4 | 2,8 x 1,0 | 4,3 x 0,8 |
| 0,3 x 0,3 | 0,9 x 0,5 | 2,8 x 1,2 | 3,8 x 1,6 |

Nr. 132 (Abb.34)

Airotor mit niedrigster Tourenzahl (ca. 250 000), Hartmetallrosenbohrer Nr. 3 (Meisinger) 6 Schneiden. Fräszeit: 1 Sekunde, Druck 40 gr. Bei einem Druck von 20 gr. kam keine Spanung zustande. Das Bild zeigt eine auffallend gleichmässige Körnung von Schmelz in uncharakteristischer Form.

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,7 | x | 0,9 | 0,4 | x | 0,6 | 0,3 | x | 0,8 | 0,5 | x | 0,8 |
| 0,3 | x | 0,3 | 0,7 | x | 0,9 | 0,8 | x | 1,3 | 1,0 | x | 2,4 |
| 0,4 | x | 1,3 | 1,0 | x | 1,2 | 0,8 | x | 1,5 | 0,9 | x | 1,3 |
| 0,7 | x | 1,9 | 0,4 | x | 0,7 | 0,3 | x | 0,3 | 2,1 | x | 2,2 |
| 0,7 | x | 1,1 | 0,5 | x | 0,7 | 0,9 | x | 1,0 | 0,2 | x | 0,3 |

Diskussion der vierten Versuchsreihe

Beim Fräsen mit Hartmetallbohrern auf Schmelz zeigte sich durch zwei Größenordnungen der Späne ebenfalls eine Vibration des Bohrers, jedoch in nicht so ausgeprägter Form wie beim Schleifen von Schmelz. Die kleine Sorte von Spänen - bei manchen Bildern ist eine Trennung schwer zu ziehen - ist überwiegend vorhanden, bei einigen (bes. bei 103 (Abb. 31), 104 (Abb. 32) sind nur recht wenig große Späne vorhanden.

Durch die geringe Zahl der großen Späne ist auf eine geringe Vibration zu schließen, wenn auch die Maße der großen beachtlich sind.

Bei 5 000 U/min. war noch keine genügende Spanung vorhanden. Die Größenunterschiede der wenigen Späne sind zu groß für einen Vergleich. Dieses Präparat mußte für vergleichende Betrachtungen folglich ausscheiden. Der Druck mußte bei dieser Drehzahl auf 160 g erhöht werden und auch bei den anderen beibehalten werden, um zu einer ausreichenden Spanung zu kommen.

Der Versuch Nr. 100 mußte wiederholt werden, um zu einer Spanung zu kommen. Für Vergleiche ist auch diese Aufnahme nicht gut geeignet, da keine Gleichmässigkeit der Späne vorhanden ist und auch angenommen werden muß, daß die Bilder der großen Späne durch Überlagerung von kleinen entstanden sind. 2,3 Späne zeigen eine sehr kompakte Form, so daß bei dieser Drehzahl auf ein Herausschlagen geschlossen werden muß.

Der Druck von 160 g ist groß. Es ließ sich nicht immer vermeiden, bes. bei den hohen Drehzahlen, daß die Fräse bis ins Dentin vordrang. Die Dentinfrässpäne konnten jedoch gut im Vergleich mit der vorangegangenen Versuchsreihe erkannt werden und wurden nicht ausgemessen.

Auch bei Nr. 101 (Abb. 30) waren einige große Späne als Dentinfrässpäne zu erkennen und wurden daher nicht ausgemessen. In einer zweiten Spanschicht zwischen den beiden

Glasplatten sind unscharf ringförmige Zusammenballungen von Spänen zu sehen. Diese sind kompakt und länglich. Die Spitzen sind nach innen, bzw, außen umgebogen. Elektrische Aufladungsunterschiede durch Glas oder Feuchtigkeit sind als Ursache anzunehmen.

Nr. 132 (Abb.34) zeigt gleichmäßig kleine, vielgestaltige Späne. Einige wenige, rundlich-kompakte, lassen auf eine Vibration schließen, jedoch muß diese sehr gering sein. Der Druck mußte auf 40 g erhöht werden, um eine Spanung zu erzielen, was als Nachteil gegenüber dem Diamanten anzusehen ist.

Die Versuche 103 und 105 und auch der Versuch 102 zeigen deutlich, daß viele schmale Späne an beiden Längsseiten Ausrißzacken haben, womit als bewiesen angesehen werden kann, daß auch bei Schmelz ein spanabhebender Vorgang vorhanden ist, zumindest bei geeigneter Relation von Druck und Tourenzahl. (Im Literaturstudium wurde der Spanungsvorgang bei Zahnhartsubstanzen diskutiert.)

Bei Nr. 101 muß der Druck für die Drehzahl noch zu niedrig gewesen sein. Die Spangröße zu 102 hätte nicht zunehmen dürfen. Ein Vergleich mit 103 und 104 ist schwer zu ziehen, dahier die amerikanischen anderenorts schon beschriebenen Bohrerformen benutzt wurden.

Bei einem Vergleich von 103, 104 und 105 ist festzustellen, daß die Vergrößerung der Schnittgeschwindigkeit bei 105 keine Spanabnahme oder Spanzunahme brachte. Die theoretische Spanabnahme, die hätte erfolgen müßen, muß wohl durch die Vergrößerung der Korngröße ausgeglichen worden sein. Zwischen den drei Bildern ist kein Unterschied feststellbar.

Wenn man einen Vergleich der Aufnahmen Nr. 102 bis 105 und 132 zieht, trotz aller schon vorher erwähnten ungleichen Versuchsbedingungen, so fällt auf, daß die Spangrößen fast gleich groß sind.

Bei 132 wurde keine Unterteilung gemacht, dadurch sind Vergleiche erschwert. Die annähernd gleiche Spangröße ist so sicher zu erklären, daß bei ansteigender Schnittgeschwindigkeit das Kleinerwerden der Späne durch ein Größerwerden der Vibration der Fräse kompensiert wurde. Beide Momente müssen beim Fräsen mit dem Rosenbohrer sehr klein sein. Die Kleinheit der Vibration (oder vielleicht auch das Nichtvorhandensein) trifft sicher nur für den Rosenbohrer zu. Für den Fissurenbohrer trifft dies sicher nicht zu, wie auch A d o l p h (3) und die M e i s i n g e r - Information (40) bestätigen. Der Fissurenbohrer, der ständig im Schnitt mit dem Zahnmaterial bleibt, gleicht in seiner Arbeitsweise mehr dem Diamanten.

## IV. Einzelne Abbildungen

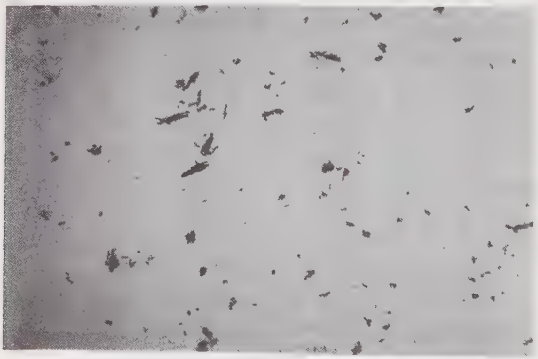


Abb. 30, Nr. 101 Hartmetallrosenbohrer Nr. 3 in Imperatorlagerung mit Schnelltrieb 20 000 U/min; 1,46 m/sek.; 160 g, V= 100 x.

Abb. 31, Nr. 103 Hartmetallrosenbohrer (8 Schneiden, wie in 3. Versuchsreihe beschrieben) im Kerr-Winkelstück. 40 000 U/min; 2,93 m/s; 2,5 sek.; 160 g.

Abb. 32, Nr. 104 Die gleichen Bedingungen wie bei Versuch 103, Fräszeit jedoch verdoppelt auf 5 sek.

Abb. 33, Nr. 105 Kerr 80 000 U/min.; 5,85 m/sek.; 2,5 sek.; 160 g.

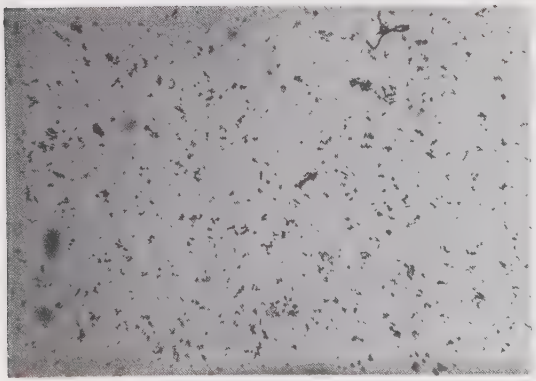


Abb. 34, 132 Hartmetallrosenbohrer FG Nr. 3 von Meisinger. Airotor, etwa 250 000 U/min.; 18,29 m/s.; 1 sek.; 40 g.

## 5. Versuchsreihe

### Bohrversuche mit Hartmetallbohrer auf Dentin

Bei Bohrversuchen dringt der Bohrer in Achsenrichtung in die Zahnsubstanz ein. Die Bohrer und Bohrerhalterungen waren die gleichen wie bei den Versuchsreihen Nr. 3 und 4.

Erläuterungen zu den einzelnen Versuchen siehe Tabelle.

Nr. 106

Es entstanden strukturlose Späne. Bei einzelnen Spänen ist ein Übergang zu Frässpänen zu erkennen. Stauchungen innerhalb der Späne treten nicht auf, jedoch ist die Dentinstruktur gut erkennbar.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0,2 x 1,0 | 3,1 x 2,6 | 2,4 x 0,7 | 1,7 x 1,1 |
| 0,4 x 0,4 | 2,2 x 1,4 | 1,7 x 1,2 | 3,9 x 2,6 |
| 2,3 x 1,6 | 3,8 x 3,2 | 2,6 x 1,8 | 0,9 x 0,7 |
| 2,0 x 1,1 | 5,4 x 4,3 | 2,7 x 2,0 | 0,5 x 0,5 |
| 1,0 x 0,7 | 0,3 x 0,3 | 2,2 x 0,9 | 3,5 x 1,3 |
| 1. Dreieck oben Mitte | 2.Dreieck rechts | 3.Dreieck unten Mitte | 4.Dreieck links |

Nr. 107

Die mit doppelter Belastung ausgeführten Versuche ergaben Späne von mehr länglicher Form.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0,8 x 0,6 | 4,8 x 1,1 | 7,0 x 2,6 | 0,9 x 0,6 |
| 1,3 x 0,5 | 2,4 x 1,0 | 3,3 x 0,9 | 2,3 x 1,0 |
| 3,3 x 1,3 | 6,0 x 4,4 | 2,9 x 1,0 | 7,7 x 3,2 |
| 0,2 x 0,2 | 2,1 x 0,8 | 0,7 x 0,4 | 4,0 x 4,0 |
| 1,1 x 0,3 | 0,6 x 0,4 | 1,3 x 0,5 | 1,8 x 1,1 |
| 1.Dreieck oben Mitte | 2.Dreieck rechts | 3.Dreieck unten Mitte | 4.Dreieck links |

Nr. 108

Die grösseren Späne müssen als Zusammenballungen angesehen werden.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3,6 x 1,0 | 5,2 x 1,9 | 1,2 x 0,8 | 2,6 x 2,3 |
| 1,8 x 1,0 | 2,4 x 0,7 | 0,8 x 0,8 | 1,4 x 1,0 |
| 2,0 x 1,7 | 2,9 x 2,3 | 4,2 x 2,4 | 1,5 x 1,1 |
| 1,2 x 0,7 | 0,6 x 0,5 | 0,7 x 0,4 | 2,0 x 1,6 |
| 3.6 x 1,7 | 1,4 x 0,6 | 2,4 x 1,2 | 0,3 x 0,3 |
| 1.Dreieck oben Mitte | 2.Dreieck rechts | 3.Dreieck unten Mitte | 4.Dreieck links |

Nr. 109

Wenig kleine Bohrspäne treten auf und haben dann etwa dieselbe Größe wie in früheren Versuchen. Außerdem sind drei große Frässpäne zu sehen. Sie zeigen keine Stauchungserscheinungen (Maße: 17,5 x 4,0; 10,5 x 3,0; 11,5 x 4,5).

Beim Auszählen der wenigen Bohrspäne wurde nicht die Unterteilung der Leinwand benutzt.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 0,7 x 0,9 | 0,2 x 0,2 | 0,6 x 0,7 | 1,2 x 2,2 |
| 0,8 x 1,1 | 0,5 x 0,7 | 0,5 x 0,9 | 0,7 x 1,6 |
| 0,7 x 1,0 | 0,8 x 1,9 | 0,8 x 2,2 | 0,7 x 1,4 |
| 2,9 x 3,5 | 1,4 x 2,2 | 1,9 x 2,5 | 0,9 x 1,3 |
| 0,6 x 1,2 | 2,0 x 2,7 | 0,9 x 2,0 | 0,4 x 0,8 |

Nr.110

Auf diesem Bild sind Übereinanderlagerungen von Bohrstaub zu sehen, die an den großen Hohlräumen inmitten der Zusammenballungen zu erkennen sind. Die anderen Späne haben eine fast gleichmässige Größe und sind stark zerklüftet. Nur diese wurden ausgemessen.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 1,0 x 0,5 | 0,3 x 0,3 | 0,9 x 0,6 | 1,9 x 0,8 |
| 1,3 x 1,0 | 1,9 x 0,5 | 2,0 x 0,7 | 0,4 x 0,4 |
| 2,0 x 0,7 | 0,6 x 0,4 | 1,7 x 1,0 | 0,6 x 0,6 |
| 1,6 x 0,6 | 0,4 x 0,3 | 1,6 x 0,9 | 2,9 x 1,2 |
| 0,8 x 0,7 | 1,2 x 0,5 | 0,2 x 0,2 | 1,7 x 0,8 |
| oberes Dreieck | rechtes Dreieck | unteres Dreieck | linkes Dreieck |

Nr. 111

Bei diesem Präparat sind auch Frässpäne zu erkennen. (4 ausgeprägte haben folgende Maße: 9,0 x 6,0; 10,5 x 3,0; 6,5 x 3,0; 6,3 x 5,5.)

Die Bohrspäne zeigen eine stark zerschlissene Form. Es sind etwa 15 wesentlich größere dabei als im vorherigen Bild. Der Übergang zu den kleinen findet allmählich statt, so daß die Gesamtheit der Späne als größer angesehen werden kann als im vorherigen Präparat.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3,8 x 2,0 | 5,0 x 1,3 | 1,4 x 0,6 | 1,2 x 0,6 |
| 5,5 x 1,8 | 1,7 x 0,6 | 2,0 x 1,6 | 1,2 x 0,8 |
| 1,6 x 0,8 | 0,4 x 0,3 | 4,8 x 0,7 | 1,1 x 0,8 |
| 0,3 x 0,3 | 5,7 x 1,8 | 0,4 x 0,3 | 0,9 x 0,4 |
| 1,8 x 0,8 | 1,8 x 0,4 | 1,8 x 0,7 | 0,3 x 0,2 |
| 1.Dreieck oben Mitte | 2.Dreieck rechts | 3.Dreieck unten Mitte | 4.Dreieck links |

Nr. 112 (Abb.35)

Die Späne sind verhältnismässig groß und gleichmässig. Es sind jedoch nur wenig vorhanden, von denen nur wenige Frässpäne sind. Auszählung erfolgte ohne Leinwandeinteilung.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 2,1 x 0,7 | 0,3 x 0,3 | 3,8 x 2,8 | 3,4 x 1,2 |
| 4,7 x 2,4 | 7,4 x 2,8 | 4,4 x 2,3 | 2,5 x 0,6 |
| 5,7 x 1,6 | 5,8 x 3,0 | 7,4 x 2,1 | 0,7 x 0,4 |
| 2,3 x 1,4 | 2,9 x 1,0 | 1,6 x 0,8 | 0,4 x 0,4 |
| 7,0 x 3,2 | 0,4 x 0,3 | 3,6 x 2,7 | 0,9 x 0,6 |

Nr. 113 (Abb.36)

Dieses Präparat zeigt zwei Spangrößen, große langgestreckte und sehr viele kleine, formlose Späne. Die beiden ersten Spalten enthalten die Maße der großen, die beiden nächsten die der kleinen Späne.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 5,4 x 3,8 | 4,4 x 1,8 | 1,0 x 0,3 | 1,2 x 0,8 |
| 7,4 x 2,2 | 10,7 x 1,3 | 1,2 x 0,9 | 0,4 x 0,3 |
| 3,5 x 2,0 | 7,1 x 2,0 | 0,8 x 0,6 | 1,3 x 0,6 |
| 2,4 x 1,6 | 4,2 x 1,6 | 2,4 x 1,3 | 0,5 x 0,3 |
| 3,2 x 2,0 | 6,3 x 1,7 | 0,8 x 0,4 | 1,4 x 0,7 |

Nr. 114(Abb.37)

Bei Anwendung eines Druckes von 80 gr. entstanden sofort große Frässpäne. Diese haben aber wenig charakteristische Form. Sie besitzen keine Stauchungslinien im Innern.
Die 4 großen Frässpäne messen: 15,0 x 6,5; 6,5 x 4,0; 11,0 x 7,0; 21,0 x 8,5.
Sehr wenig kleine Bohrspäne sind vorhanden.

| | |
|---|---|
| 3,5 x 1,1 | 1,5 x 1,0 |
| 1,1 x 1,0 | 1,6 x 0,8 |
| 1,1 x 0,4 | 0,4 x 0,4 |
| 1,2 x 0,6 | 1,8 x 1,1 |
| 3,3 x 1,1 | 1,2 x 0,7 |

Nr. 115 (Abb.38)

Dieses Bild zeigt sehr zerrissene formlose Späne, die als Bohr-und Frässpäne zu bezeichnen sind. Eine unterschiedliche Größe beider Arten ist nicht feststellbar.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 4,6 x 1,6 | 4,0 x 3,2 | 1,0 x 0,5 | 1,4 x 1,1 |
| 7,5 x 1,9 | 5,2 x 2,4 | 9,0 x 0,8 | 7,8 x 2,2 |
| 7,8 x 1,4 | 0,4 x 0,3 | 3,2 x 1,4 | 0,4 x 0,3 |
| 0,6 x 0,4 | 3,4 x 2,6 | 1,7 x 0,6 | 12,7 x 1,9 |
| 8,0 x 5,0 | 0,4 x 0,3 | 1,2 x 0,8 | 6,6 x 2,4 |

Nr. 116 (Abb.39)

Das Präparat enthält formlose Späne, die in zwei Größen zu unterteilen sind. Bei vielen Spänen können Fräsmerkmale angetroffen werden. Die beiden ersten Spalten enthalten die großen, die beiden nächsten die kleinen Maße.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 14,5 x 2,8 | 5,5 x 1,8 | 1,4 x 1,2 | 0,4 x 0,4 |
| 4,8 x 3,0 | 6,5 x 1,7 | 1,3 x 0,6 | 2,0 x 1,0 |
| 18,5 x 4,0 | 8,5 x 2,5 | 0,8 x 0,6 | 1,8 x 1,2 |
| 10,0 x 3,4 | 9,5 x 2,2 | 2,2 x 1,0 | 1,6 x 0,9 |
| 8,0 x 3,0 | 11,0 x 1,8 | 0,4 x 0,3 | 1,6 x 0,8 |

Nr. 117 (Abb.40)

Bei gesteigertem Druck fallen noch größere Späne an. Es sind ganz geringe Stauchungslinien in einzelnen größeren Spänen zu erkennen. Ein prägnanter Unterschied zwischen kleinen und großen Spänen ist nicht mehr feststellbar. Der Übergang ist fliessend bis zu den größten Spänen.

| | | | |
|---|---|---|---|
| 3,5 x 2,2 | 3,0 x 1,5 | 17,0 x 2,5 | 0,8 x 0,7 |
| 1,2 x 0,7 | 2,5 x 2,2 | 2,2 x 1,2 | 2,2 x 1,1 |
| 5,0 x 1,8 | 1,6 x 0,8 | 2,6 x 1,4 | 7,5 x 1,8 |
| 3,5 x 1,2 | 0,9 x 0,7 | 6,5 x 5,5 | 10,5 x 3,5 |
| 10,0 x 6,0 | 14,0 x 5,5 | 6,5 x 6,0 | 2,9 x 0,8 |

Nr. 118

Sehr wenig Späne fallen an, da der Druck gering war. Von den 20 Spänen sind die drei mittleren: 6,4 x 4,5; 4,3 x 2,0; 4,2 x 0,8. Sie zeigen sowohl Dentin- als auch Schmelzmerkmale.

Nr. 119

Ein riesiger Dentinsplitter mit 2 Querstauchungslinien vom Maße 18,0 x 7,0 ist aufgefangen worden.

Nr. 120

Das Präparat enthält einige wenige dicke Dentinsplitter, die so dick sind, daß die Dentinstruktur schlecht zu erkennen ist. Die 1. Spalte enthält diese großen Splitter, die beiden nächsten die kleinen Späne.

| | | |
|---|---|---|
| 28,0 x 5,0 | 1,4 x 1,2 | 1,4 x 0,9 |
| 16,0 x 1,8 | 3,1 x 1,6 | 1,1 x 0,7 |
| 27,0 x 7,0 | 2,1 x 0,9 | 1,4 x 0,7 |
| 13,0 x 3,0 | 0,9 x 0,8 | 1,2 x 0,6 |
| 20,0 x 9,0 | 0,7 x 0,7 | 1,5 x 0,8 |

Nr. 122

Das Präparat enthält nur 5 größere Späne.

2,4 x 2,2
4,5 x 2,2
2,7 x 1,8
3,4 x 2,8
2,3 x 1,8

Nr. 123

Dieses Präparat zeigt zwei auffallend große Dentinspäne (16,0 x 2,0; 17,0 x 9,0). Es handelt sich um Fräspäne mit Stauchungserscheinungen und gut sichtbarer Dentinstruktur. Außerdem sind 4 ganz schmale Späne im Präparat enthalten:

7,0 x 0,3; 6,5 x 0,3; 3,5 x 0,4; 5,0 x 0,5.

Diese Späne haben im Innern Vakuolen, die genau so aussehen wie in den großen Spänen. Es ist anzunehmen, daß sie von großen Dentinspänen entstanden sind.
5 andere größere Brocken messen:

1,2 x 2,2; 1,4 x 0,8; 1,8 x 2,5; 2,9 x 2,0; 1,4 x 1,6.

Nr. 135

Nur vereinzelt treten längliche Frässpäne auf. Der längste 10,0 x 0,6. Der größte befindet sich fast in der Mitte des Bildes: 2,0 x 1,4. Die Struktur der Dentinspäne zeigt Übergänge zu vielen nadelförmigen Frässpänen. Ein Teil der Späne hat rundliche Form.

Die 10 Ausmessungen sind ohne Leinwandeinteilung erfolgt:

| | |
|---|---|
| 1,3 x 0,7 | 2,9 x 1,3 |
| 0,8 x 0,4 | 1,0 x 0,7 |
| 0,7 x 0,4 | 2,0 x 0,4 |
| 1,2 x 0,5 | 0,9 x 0,8 |
| 2,9 x 0,6 | 1,1 x 0,6. |

Diskussion der fünften Versuchsreihe.

Das Bohren mit Hartmetallbohrern in Dentin brachte in den einzelnen Versuchen und bes. als gesamte Serie betrachtet ein sehr vielfältiges Bild. Der Bohrer, der in Achsenrichtung in das Dentin eindringt, arbeitete als Bohrer und durch seine seitlichen Abweichungen als Fräse. Gewisse seitliche Schwankungen wird jeder Rosenbohrer haben, da eine Führung des Bohrers in Bohrrichtung im Material (wie etwa beim Holzbohrer oder auch noch zum Teil beim technischen Metallbohrer) durch die rund zusammenlaufenden Bohrerschneiden auf der Stirnseite nicht möglich ist.

Der "Relevation Bohrer", der "klassische" Bohrer mit erhöhter, mittlerer Schneide, der praktisch eine Kombination zwischen Drehmeißel - dessen Benutzung auch in der Zahnheilkunde für gewisse Arbeiten empfohlen wird (Walkhoff, Bonsack) - und einer Fräse ist, gilt bis heute als die beste Lösung. Der starke Druck auf die eine überhöhte Schneide führt zu ihrem schnellen Stumpfwerden.

Die Industrie fand den Ausweg zuerst, mit einem kleinen Bohrer vorzuarbeiten. Bei diesem ist der nicht arbeitende, nur gleitende Teil der Bohrerspitze klein. - Anschließend wird dann mit einem großen Bohrer, der als "Stirnfräse" arbeitet, das Bohrloch erweitert. Diese Arbeitsweise wird mit Rosenbohrern bei der Pulpentrepanation mit gutem Erfolg angewendet.

Auf einen Nenner gebracht könnte man sagen: Bohren sollte man nur wenn unbedingt notwendig. Man sollte sobald wie möglich zum Fräsen übergehen.

Aus diesem Grunde sind Vergleiche der Messungen innerhalb der gesamten Serie fragwürdig. Jeder Versuch für sich ist jedoch aufschlußreich. Vergleiche innerhalb einer Tourenzahl sind allenfalls möglich.

Allein die Tatsache, daß auf jedem Bild Bohr-und Frässpäne vorhanden sind, bringt große Schwierigkeiten für vergleichende Untersuchungen.

Bei niedrigstem Druck, z.B. bei Nr. 106 sind, wie zu erwarten ist, am meisten Frässpäne vorhanden.

Schöne große Frässpäne sind (wie bei 109) nur bei niedrigem Druck möglich. Bei tieferem Eindringen des Bohrers werden die Späne beim Abtransport von anderen Schneiden nochmals erfaßt und weiter zerkleinert, wie die Nr. 110 gut zeigt.-

Die gleiche Beobachtung ist beim Vergleich der Aufnahmen 112 (Abb. 35) und 113 (Abb.36) zu machen.

114 (Abb.37) zeigt große Frässpäne ohne Stauchungserscheinungen. Dies ist ein Merkmal der gesamten Versuchsreihe Bis auf Nr. 117, 119, 123, bei denen der hohe Druck in Bohrrichtung und die hohe Schnittgeschwindigkeit bei einigen Spänen zu geringen Stauchungen geführt hat, sind bei allen anderen Frässpänen keine Stauchungen zu sehen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß die Frässpäne ohne jeglichen Druck nur durch die seitliche zufällige Abweichung des Bohrers entstanden sind.

Ins Klinische übertragen bedeutet diese Feststellung, daß man auch beim Fräsen in Dentin den Druck so klein wie möglich halten sollte.

Nr. 115, 116, 117 (Abb.38,39,40) zeigen große Späne, die größten in der gesamten Versuchsreihe. Diese sind durch die hohe Schnittgeschwindigkeit zusammen mit dem hohen Druck zu erklären.

Die Aufnahmen 118 bis 123 konnten keine eindeutigen Ergebnisse bringen, da der amerikanische Kerr-Rosenbohrer keine überhöhte Schneide hat und daher nicht zum Bohren geeignet ist. Dies zeigt sich darin, daß erst bei einem Druck von 80 g (wie bei Nr. 120) kleine Bohrspäne entstehen, neben sehr großen Frässpänen, die sehr kompakt sind, da sie lichtundurchlässig sind.

Der Airotorversuch bringt ein gleichmässiges Spanbild. Die spitze nadelförmige Spanform überwiegt und zeigt, daß der Bohrer hier vorwiegend als Fräse gearbeitet hat. Die geringe Spanmenge im Vergleich zu anderen Airotorversuchen läßt jedoch einen bedingten Schluß auf die ungünstige Art dieser Arbeitsweise zu.

## IV. Einzelne Abbildungen

Abb.35, Nr.112
HM Bohrer Nr. 3 im Imperator mit Schnelltrieb 20 000 U/min, 1,46 m/s.; 20 g.; 5 sek.

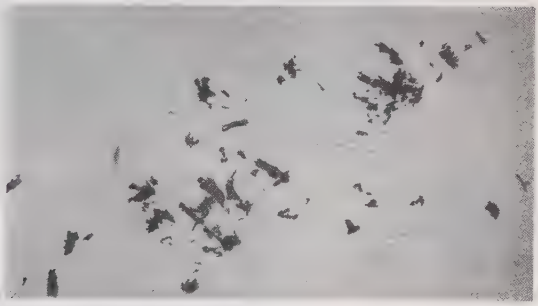


Abb.36, Nr. 113
Daten wie Nr. 112, nur verdoppelten Druck (40 g.)

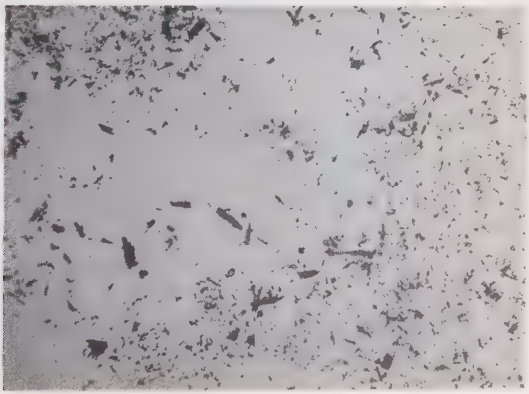


Abb.37, Nr. 114
Daten wie 112,
nur vierfacher
Druck (80 g).

Abb.38, Nr. 115
HM Bohrer Nr. 3 im
Imperator mit
Schnelltrieb
40 000 U/min;
2,93 m/s; 20 g;
5 sek.

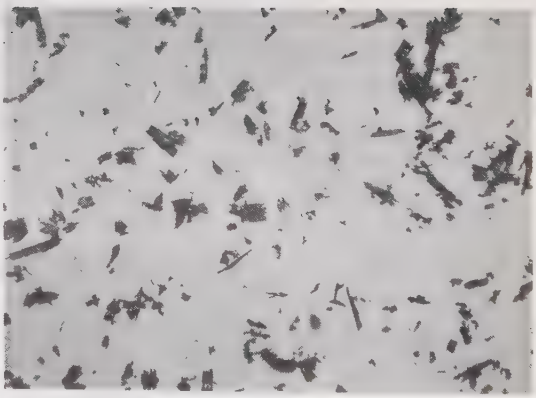


Abb.39, Nr.116
Daten wie Nr.115,
nur verdoppelten
Druck (40 g)

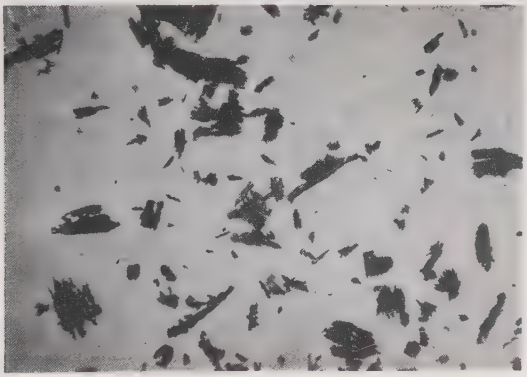
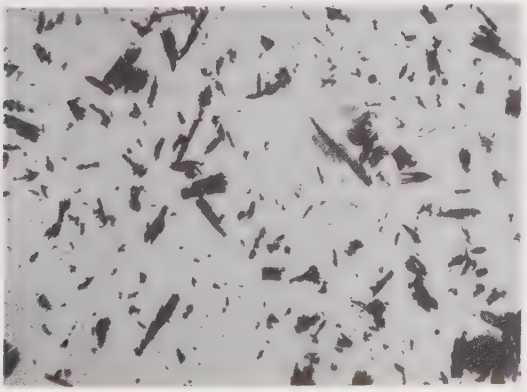


Abb.40, Nr. 117
Daten wie Nr. 115,
nur vierfacher
Druck (80 g).



## 6. Versuchsreihe

### Fräsversuche mit Hartmetall-Rosenbohrer Nr. 3

#### auf Elfenbein

Die Versuchsanordnung, Bohrerhalterungen, Antriebselemente usw. waren die gleichen wie bei den anderen Versuchsreihen mit Hartmetallbohrern, lediglich der Hartstoff ist geändert.

Nr. 124 (Abb. 41)

Es ergeben sich sehr große Späne mit Stauchungslinien, die jedoch nicht stark ausgeprägt sind. Die Rißstellen an den Seiten der Späne sind klein gezackt. Die tiefen Einrisse fehlen. Die Substanz erscheint fest und brüchig.

10 Messungen ohne Leinwandeinteilung:

| | |
|---|---|
| 37 x 6 | 27 x 17 |
| 35 x 7 | 42 x 6 |
| 46 x 9 | 46 x 3,5 |
| 19 x 3 | 23 x 6 |
| 24 x 4 | 16 x 4 |

Nr. 125 (Abb.42)

Die Brocken sind gegenüber dem vorherigen Präparat noch größer geworden, Stauchungserscheinungen kaum noch zu bemerken und fehlen in manchen Spänen überhaupt.

| | |
|---|---|
| 24 x 6 | 16 x 12 |
| 21 x 5 | 26 x 15 |
| 17 x 7 | 31 x 12 |
| 53 x 8 | 36 x 9 |
| 27 x 5 | 14 x 10 |

Nr. 126

Die Brocken zeigen kaum Stauungserscheinungen und sind kompakt. Das Bild enthält nur 7 ausmeßbare Späne:

27 x 8
32 x 11
23 x 7
24 x 16
19 x 4
34 x 20
13 x 10

Nr. 127 (Abb.43)

Die Stauchungslinien sind in einigen Brocken breit, die Einrisse an den Seiten tief, unregelmässig und grob, zum Teil treten auch kaum Stauchungszonen auf. Strukturmässig ist zwischen sehr wenigen, kleinen und recht vielen, großen Spänen kein Unterschied feststellbar. Eine Unterteilung wäre nur nach der Größe vorzunehmen, jedoch sind nur wenige Messungen möglich. Eine Unterteilung in zwei Größenordnungen ist nicht angezeigt, zumal Übergänge vorhanden sind.
Die beiden ersten Spalten enthalten Maße von großen, die nächste die von kleinen Spänen.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 22 | x | 13 | 11 | x | 7 | 5 | x | 2 |
| 23 | x | 6 | 8 | x | 3 | 7 | x | 3 |
| 12 | x | 11 | 15 | x | 4 | 3,5 | x | 1,5 |
| 13 | x | 8 | 28 | x | 5 | 1,5 | x | 1 |
| 9 | x | 4 | 20 | x | 7 | 5,5 | x | 3 |

Nr. 136 I

Airotor 20 g. 1 Sek.

Dieses Bild zeigt sehr wenige große Brocken und sehr viele kleine. Es besteht kein Übergang zwischen den beiden Größen. Während die kleinen Späne ein recht einheitliches Bild ergeben, sind die großen wegen ihrer geringen Anzahl und wegen ihrer verschiedenen Größen schwer als eine bestimmte Größenordnung zu erfassen. Die beiden ersten Spalten sind die kleinen, die dritte die großen Späne.

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0,6 | x | 0,4 | 0,4 | x | 0,3 | 3 | x | 1,7 |
| 0,6 | x | 0,5 | 1,5 | x | 0,7 | 3,2 | x | 2,8 |
| 1,3 | x | 0,8 | 0,4 | x | 0,3 | 8 | x | 2,5 |
| 2,4 | x | 1,3 | 2,3 | x | 1,1 | 6,8 | x | 3 |
| 0,9 | x | 0,8 | 0,6 | x | 0,5 | 21 | x | 4 |

Diskussion der sechsten Versuchsreihe.

Diese Versuchsreihe bestand nur aus 6 Versuchen (Hartmetallbohrer auf Elfenbein) und sollte Vergleich von Elfenbein gegenüber dem Bearbeiteten von Dentin bringen. Es wurde festgestellt, daß auch in diesen Spänen Stauchungslinien sind, jedoch nicht sehr stark ausgeprägt. Die Rißlinien an den Seiten sind ungleichmässig. Die Substanz erscheint im Gegensatz zum Dentin fest und brüchig. Mit ansteigender Drehzahl treten zwei Größenordnungen von Spänen auf, die ohne Übergänge für sich bestehen. Dieses läßt auf eine festere Substanz nach den Erfahrungen der vorhergehenden Versuchsreihen (auch hier "Rückstoß" der Bohrerschneiden) gegenüber dem Dentin schließen. Die Oberflächenstruktur bei den kleinen und großen Spänen war nicht unterschiedlich. Diese Versuchsreihe zeigt, daß direkte Schlüsse von Elfenbeinversuchen auf Dentin nicht oder nur in ganz begrenztem Umfang möglich sind.

## IV. Einzelne Abbildungen.

Abb.41, Nr.124
Fräsen auf Elfenbein,
HMB Nr.3, Imperator
20 000 U/min.; 1,46 m/s;
5 sek.; 80 g.

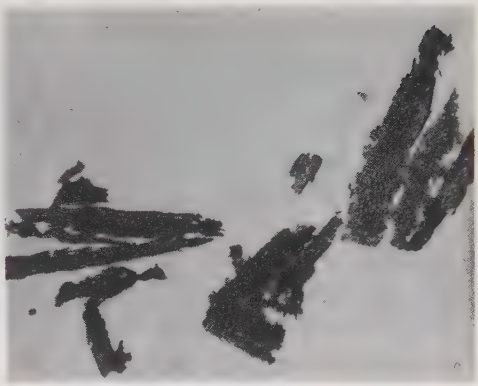


Abb.42, Nr.125
Daten wie Nr. 124,
nur 40 000 U/min.
mit 2,93 m/s.

Abb.43 Nr.127
Kerr, 80 000 U/min.;
5,85 m/s., 2,5 sek.;
80 g.

## Einzelversuche

**Fräsen, Normalstahlbohrer Größe 3 auf Dentin, 800 U/min, 5 sec.**

**Ein Rosenbohrer der Firma B u s c h im normalen Handstück (Ka-Vo) wurde benutzt. Der Druck war ansteigend: Bei Präparat 128 betrug er 20 g, bei 129 40 g und bei 130 80 g.**

Nr. 128

Es entstanden große Dentinspäne mit geringen Stauchungserscheinungen im Innern, sehr fein gezacktem Rand und Einrissen im Innern im Verlauf der Stauchungen. Der große Span in der Mitte der oberen Längsseite mißt 14 x 10.

Nr. 129

In dem größten viereckigen Span in der Mitte des Bildes sind ausgeprägte Längsstauchungen als vier weiße Linien, die etwa gleichen Abstand voneinander haben, zu erkennen.

Die Querstauchungen sind deutlicher ausgeprägt als im vorherigen Bild; die seitlichen Einrißzacken an den Spänen sind kleiner. Der große Span in der Mitte des Bildes mißt 23 x 12.

Nr. 130

Die seitlichen Einrißzacken sind sehr tief. Das Innere der Späne ist nicht oder nur wenig durch Hohlräume unterbrochen, was auf eine gewisse Stärke der Späne schließen läßt. Querstauchungen treten nicht stärker auf als vorher, Längsstauchungen können nicht beobachtet werden. Der größte Span, in der oberen Ecke gelegen, mißt 13 x 8. Die 7 langen Einrisse sind 4 tief.

Bohren, Normalstahlbohrer Größe 3 auf Dentin, 800 U/min,5 sec.

Bohrer und Handstück waren die gleichen, wie bei den drei vorhergehenden Versuchen. Druck 160 g.

Bei Drucken von 20, 40, 80 g. wurde noch keine Spanung erzielt.

Nr. 131 I (Abb.45)

Viele formlose, etwa gleichgroße Bohrspäne fallen an. 7 wesentlich größere Frässpäne sind dabei.-- Die Frässpäne zeigen nur wenige Quer-oder Längsstauchungen. Die Randzacken sind fein. Der große Span auf der oberen Längsseite mißt 10 x 8,5; zum Teil ist er eingerollt; die Dentinstruktur ist gut zu erkennen.

10 Bohrspäne:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2,7 | x | 0,9 | 5,8 | x | 2,6 |
| 2,1 | x | 0,7 | 3,6 | x | 1,5 |
| 1,2 | x | 0,7 | 3 | x | 1,7 |
| 1,6 | x | 1 | 3 | x | 1 |
| 3,3 | x | 2,2 | 6,2 | x | 1,2 |

Nr. 133 (Abb.46)

Airotor, Hartmetallbohrer, Bohren auf Schmelz,40 g.,1 Sek.

Rosenbohrer Meisinger Nr. 3

Die anfallenden Bohrspäne sind vielgestaltig. Es ergeben sich keine Frässpäne. 20 Bohrspäne ohne Leinwandeinteilung haben folgende Maße:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1,4 | x | 0,9 | 1,9 | x | 1 | 1,6 | x | 0,4 | 1,8 | x | 0,9 |
| 0,4 | x | 0,4 | 0,7 | x | 0,5 | 0,2 | x | 0,2 | 1,4 | x | 1 |
| 0,8 | x | 0,5 | 1,7 | x | 0,7 | 0,9 | x | 0,5 | 3,7 | x | 3,6 |
| 1,9 | x | 0,8 | 0,7 | x | 0,3 | 1,2 | x | 0,5 | 0,2 | x | 0,2 |
| 1,3 | x | 0,7 | 3,2 | x | 2,1 | 0,7 | x | 0,4 | 1,3 | x | 0,7 |

Nr. 139 I

Airotor, Schleifen mit Diamant-Walze auf Elfenbein; 20 g.,1 Se

Die Diamantwalze war die gleiche wie bei Versuch Nr.137 (Seite 28). Zerklüftete, aber doch kompakte Späne können beobachtet werden. Manche Späne haben einen dunklen, scharf abgegrenzten Randsaum. Große Späne sind selten. Da einige ganz kleine Ölsprühtröpfchen zu erkennen sind, ist anzunehmen, daß die dunkle Randzone bei manchen Spänen durch Brechungserscheinungen des Öls hervorgerufen werden. Die 3 größten Späne messen: 7 x 6; 9 x 4; 14 x 5.

10 kleine haben folgende Maße:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 1,6 | x | 1 | 1,3 | x | 0,8 |
| 1,1 | x | 1,1 | 0,9 | x | 0,6 |
| 1,3 | x | 1,2 | 1,9 | x | 1,1 |
| 1,6 | x | 0,8 | 1,8 | x | 0,6 |
| 0,9 | x | 0,7 | 1,3 | x | 0,8 |

Schleifen auf Glas. Opt.Plattenglas SF 11 der Jenaer Glaswerke S c h o t t u.Gen.,Mainz.

Nr. 141 (Abb.47)

Imperator - Handstück, Walze Nr.51, 4 000 U/min, 5 Sek.20 g.

Die Späne sind groß, sehr kompakt und lassen eine muschelförmige Struktur erkennen. Die Größe der Späne ist gleichmässig. Als Beispiel werden 5 Stück angegeben:

| | | |
|---|---|---|
| 7,5 | x | 4 |
| 5 | x | 3,5 |
| 5 | x | 4 |
| 10 | x | 4 |
| 7,5 | x | 6 |

Nr. 142

Gleiche Versuchsbedingungen wie bei Nr. 141., Drehzahl jedoch 40 000 U/min.

Auch bei diesem Bild kommt die Muschelstruktur des Glases zur Geltung, bes. bei einem Span. Die Späne sind noch stärker zerrissen, aber immerhin noch kompakt, jedoch nicht mit Dentin-oder Schmelzspänen zu vergleichen.

Maße von 5 Spänen:

3,5 x 3
7,5 x 4
5 x 5
3 x 2,5
6 x 4,5

Nr. 140

Airotor, niedrigste Tourenzahl 250 000 U/min, 20 g., 1 Sek.

Die Walze war die gleiche wie bei Versuch Nr. 137. Es liegen rundliche abgesprengte Späne vor, die zum Teil muschelförmige Wölbungen erkennen lassen. Ein Vergleich mit Dentin-und Schmelzspänen ist nicht zu ziehen. Die Größe bewegt sich zwischen 0,3 x 0,2 und 8 x 6.

Nr. 143 (Abb.48)

Bohren auf Dentin mit Rosenbohrer Nr. 3, Spanbrecher der Firma B u s c h 800 U/min, 40 g., Normales Ka-Vo Handstück.

Das Präparat enthält stark zerrissene Brocken, die kompakt sind, keine Vakuolenbildung im Innern und sehr wenig Stauchungserscheinungen aufweisen. Die kleinen Späne zeigen im Ganzen eine zerschlissene Form, bei den großen ist nur der Rand zerschlissen. Die 4 größten Späne messen: 13 x 11; 15 x 14; 16 x 10; 19 x 10.

5 kleinere Späne haben folgende Größen:

6 x 4
7,5 x 3,5
6 x 3
8 x 3
5,5 x 4,5

Nr. 144 (Abb. 49)

Fräsen auf Dentin mit Rosenbohrer Gr. 3 Spanbrecher (wie Nr.143)

Es wurden die gleichen Bedingungen wie beim Versuch Nr.143 angewendet. Dieses Bild zeigt gut ausgeprägte große, in sich geschlossene, mit gleichmässigen Querstauchungsstreifen versehene Späne. Längsstauchungen sind nicht zu finden. Mancher Span reißt in der Mitte der Längsrichtung durch, um zwei neue kleinere Späne zu bilden. Die Dentinstruktur ist sehr gut zu erkennen. Der größte Span in der Mitte hat 21 x 22; der Span in der oberen rechten Ecke des Bildes 24 x 14.

Das Verhältnis zwischen Tourenzahl und Druck scheint für diesen Bohrer beim Fräsen auf Dentin das optimal günstigste zu sein.

Nr. 145 (Abb. 50)

Bohren auf Dentin mit dem Drallbohrer (Abart des Rosenbohrers)

Nr. 3 von der Firma B u s c h.

Die Versuchsbedingungen sind die gleichen wie beim vorherigen Versuch.

Völlig zerrissene und zerschnittene Späne sind im Präparat enthalten, es sind auch Frässpäne darunter, jedoch nur sehr wenig. Auch die Frässpäne zeigen keine gleichmässige Struktur. Ein Frässpan in der rechten oberen Ecke des Bildes mißt 8 x 8.

10 kleine Bohrspäne aus der Mitte des Bildes haben folgende Maße:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 5 | x | 4 | 3 | x | 2,4 |
| 3 | x | 4 | 4,7 | x | 2 |
| 2 | x | 1,8 | 2 | x | 2 |
| 2,1 | x | 1 | 4 | x | 1,3 |
| 2,7 | x | 2,2 | 4 | x | 1,9 |

Nr. 146 (Abb.51)

Fräsen auf Dentin mit dem Drallbohrer Nr.3 unter den gleichen Bedingungen wie bei Nr. 145.

Sehr große Frässpäne, die jedoch nur an einer Seite Ausrißzacken zeigen, fallen an. Die andere Seite ist oftmals glatt. Die Späne zeigen Querstauchungszonen, jedoch keine Längsstauchungen.

Die beiden großen Späne in der Mitte messen: 24 x 17; 16 x 11.

Diskussion der Einzelversuche

3 Fräsversuche mit Normalstahlbohrern auf Dentin erbrachten bei einer Tourenzahl von 800 U/min. und Drucken von 20, 40, 80 g. ausgeprägte Scherspäne. Sie zeigten durchweg geringe Querstauchungen, jedoch nur bei 80 g. Druck. Im Vergleich zum Hartmetallbohrer muß die Scherwirkung bei diesen spitzwinkligen Schneidwinkeln günstiger sein. Dies jedoch nur bei neuen scharfen Bohrern. Da nach geringem Gebrauch eine Abrundung (Abstumpfung) des Schneidwinkels eintritt, sind die Späne dieser drei Versuche nur als "Idealspäne" anzusehen. Das ideale wäre ein Sintermetallbohrer in der Form der heutigen Normalstahlbohrer. (Dieser läßt sich durch die bestehende Brüchigkeit der Sintermetalle noch nicht herstellen.)

Beim Bohren mit Normalstahlbohrern auf Dentin mußte der Druck auf 160 g. erhöht werden, um eine Spanabnahme zu erzielen. Dieser Druck ist als unphysiologisch abzulehnen.

Beim Bohren mit Hartmetallbohrern auf Schmelz mit der Luftturbine entstanden keine Frässpäne. Die Bohrspäne waren sehr vielgestaltig. Der Druck mußte auf 40 g. erhöht werden, um zu einer Spanung zu kommen. Auch beim Versuch 132 - Fräsen auf Schmelz mit Airotor - mußte der Druck auf 40 g. erhöhrt werden, um Späne zu erhalten. Die Form der Späne war dann jedoch einheitlicher als beim obigen Versuch. Beim Schleifen mit Airotor auf Elfenbein entstanden ebenfalls zwei Größenordnungen von Spänen. Dies spricht nach der "Rückstoßtheorie" (M e i s i n g e r - Inf.) für eine größere Festigkeit des Materials.

Bei 3 Schleifversuchen auf Glas bei 4 000, 40 000 und 250 000 U/min. kommt eine muschelförmige Struktur der Späne, die charakteristisch für Glasspäne ist, zur Geltung. Die Späne sind kompakt und lassen einen Vergleich mit Dentin-oder Schmalzspänen nicht zu, vergl. O n t r u p (27).

Ein Bohrversuch mit dem Rosenbohrer Nr. 3 (Spanbrecher) auf Dentin bei 800 U/min. zeigte stark zerschlissene Brocken mit sehr wenig Stauchungserscheinungen in zwei Größenordnungen Nur bei den größeren Spänen war der Rand weniger zerschlissen. Das Fräsen brachte mit demselben Bohrer große Späne mit gleich mässigen Querstauchungsstreifen. Diese beiden Versuche zeigen, daß der Spanbrecher keinen Vorteil beim Fräsen bringt. Beim Bohren sind günstigere Ergebnisse zu erwarten, da die mehrfach zerschnittenen Späne leichter abtransportiert werden können.

Zwei Versuche, Bohren und Fräsen mit dem Drallbohrer, erbrachten auch zerschlissene Späne. Beim Fräsen mit dem Drallbohrer entstanden sehr große Frässpäne, die nur an einer Stelle Ausrißzacken zeigten, die andere Seite war geschnitten glatt. Dies kann man physiologisch als günstiger bezeichnen. In beiden Fällen ist ein besserer Spanabtransport gegeben.

Abbildungen zu den Einzelversuchen.

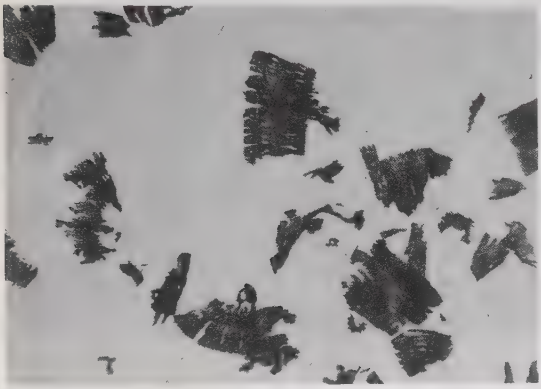


Abb. 44, Nr.129 Fräsen, Normalstahlbohrer Größe 3 auf Dentin 800 U/min., 5 Sek.

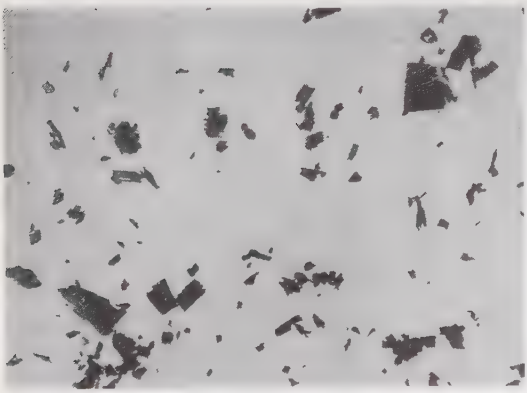


Abb.45, Nr.131/I Bohren auf Dentin, Normalstahlbohrer Nr.3, 800 U/min., 5 Sek.

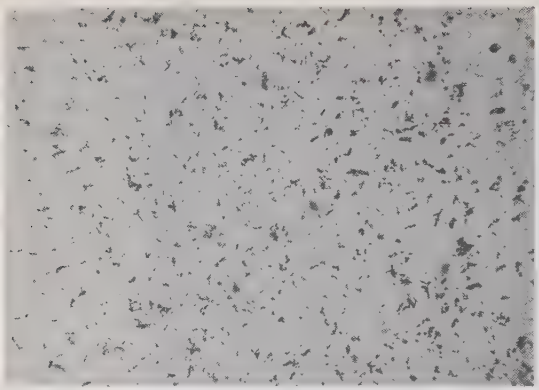
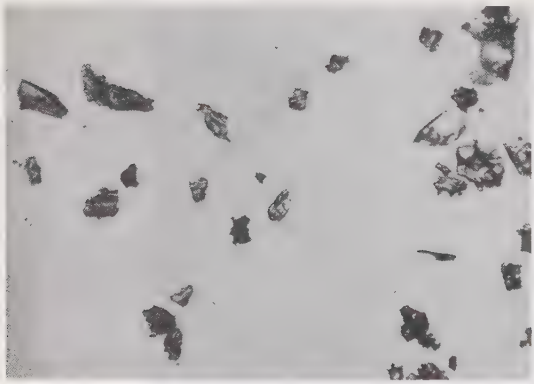


Abb.46, Nr. 133 Bohren auf Schmelz, HMB Nr.3 Meisinger Airotor, etwa 250 000 U/min., 1 Sek.,40g.



muschel-
förmig

Abb.47, Nr. 141 Schleifen auf Glas, Diamantwalze Nr. 51, (Fa. D.u.Z.,Berlin) 4 000 U/min.,5 Sek.,20g.

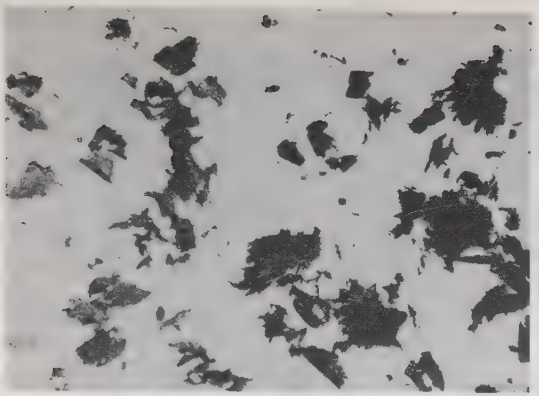


Abb.48, Nr. 143 Bohren auf Dentin mit Rosenbohrer Nr.3 der Fa. B u s c h, Spanbrecher (die überhöhte Zentralschneide ist durch Einschnitte unterteilt.)
800 U/min., 40 g., normales Ka-Vo-Handstück

Abb. 49, Nr. 144 Fräsen auf Dentin unter den gleichen Bedingungen wie Nr. 143

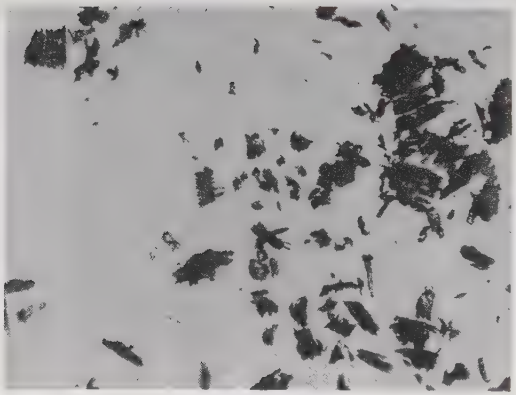


Abb. 50, Nr. 145 Bohren auf Dentin, Drallbohrer Nr. 3, Fa. B u s c h,(die Schneiden sind seitlich durch Einschnitte unterteilt) 800 U/min, 40 g, normales Ka-Vo-Handstück.

Abb. 51, Nr.146 Fräsen auf Dentin unter sonst gleichen Bedingungen wie bei Nr. 145.

Zusammenfassung

Mit Drehzahlen von 800 U/min bis 250 000 U/min wurden Schleif-, Bohr-und Frässpäne von Schmelz, Dentin, Elfenbein und Schwertflintglas gewonnen. In etwa 140 Präparaten wurden Späne aufgefangen. Durch photographische Darstellung und Vergrößerungen von Ausschnitten ergab sich die Möglichkeit der zweidimensionalen Ausmessung auf 1/1000 mm genau.
Jede Versuchsreihe ist eingehend diskutiert worden.

Hier zusammenfassend nochmals die wichtigsten Ergebnisse der Arbeit, die aber, da zum größten Teil bisher nicht bekannt noch einer Nachprüfung bedürfen.

1.) Die Schnittgeschwindigkeiten zwischen der Luftturbine und dem Schnurantrieb eines schnellaufenden Elektromotors mit Doriotgestänge und Übersetzungsschnelltrieb sind mit den dafür gebräuchlichsten Schleifern annähernd gleich groß. Das Privileg der Luftturbine, die unbedingt höhere Schnittgeschwindigkeit zu besitzen, entfällt dadurch (s.1. Versuchsreihe, Versuch 137 und Versuch 36).

2.) Aus dem Verhältnis zwischen kleinen und großen Spänen, die in den meisten Präparaten ohne Übergang zu erkennen waren, ist zu folgern, daß die starre Imperatorgleitlagerung der Plastikfutterlagerung an Laufruhe des schneidenden Instrumentes überlegen ist (Versuche Nr. 36, 37).

3.) Muschelförmige Späne wie beim Glas, die auf tiefere Einrisse ins Material schliessen lassen, sind beim Schmelz nicht zu beobachten gewesen.

4.) 20 000 U/min und 20 g Druck müssen mit kleinem Diamant - schleifrad (Nr. 98 von D. u.Z.) als die unterste Grenze der Tourenzahl angesehen werden, da sonst der Schleifer "durchrutscht".

5.) Der Druck sollte nicht wesentlich über 20 g liegen, um die Hitzeentwicklung gering zu halten.

6.) Auch beim Diamantschleifen von Schmelz entstehen Späne mit den Merkmalen von Querstauchungen und seitlichen Ausrißzacken (Abb.11).

7.) Beim Diamantschleifen auf Dentin erzeugte erst die Tourenzahl über 40 000 U/min reichlich Späne. Bei niederen Tourenzahlen war der Spanabtransport ("Verschmieren" des Diamanten) zu gering.

8.) Auch beim Schleifen von Dentin entstehen Späne (Abb.14).

9.) Der Druck (Vorschubkraft) muß beim Diamantschleifen im Dentin so klein wie möglich sein, da sonst das einzelne Diamantkorn bis zu seiner Einbettmasse ins Dentin eindringt und dadurch Reibungshitze entsteht.

10.) Beim Diamantschleifen von Dentin ist als vorteilhafter anzunehmen, daß geringere Vibrationen des Instrumentes auftreten, da nur eine Größenordnung von Spänen entsteht.

11.) Das Fräsen mit Hartmetallbohrern auf Dentin bringt erst eine ausreichende Spanung über 5 000 U/min.

12.) Der erstrebenswerte "Idealfrässpan", der wenig Stauchungserscheinungen hat, ist nur mit dem Normalstahlbohrer zu erreichen (Abb.44).

13.) Bei 10 000, 20 000 und 40 000 U/min wurden mit dem Hartmetallrosenbohrer Frässpäne mit sehr geringen Querstauchungen erzeugt, die dem "Idealfrässpan" sehr nahe kamen und die durch ihre geringe Abscherwirkung und die damit verbundene geringe Hitzeentwicklung sehr günstig sein müssen.

14.) Beim Fräsen von Schmelz mit Hartmetallbohrern mußte der Druck von 20 g auf 160 g erhöht werden, um zu einer ausreichenden Spanmenge zu gelangen.

15.) Zwei Größenordnungen der Späne waren ebenfalls feststellbar, wenn auch kleiner als beim Diamantschleifen von Schmelz

16.) Ein Druck von 40 g beim Airotor (Abb.34), der erst eine gleichmässige Spanung erzielte, muß in bezug auf Hitzeentwicklung am Zahn und auch in bezug auf Belastung des Bohrerschaftes als zu groß und daher als ungünstig angesehen werden.

17.) Beim Bohren mit Hartmetallbohrern in Dentin entstanden 2 Arten von Spänen: vielgezackte Ausrißspäne und Frässpäne. Die Frässpäne zeigten keine Querstauchungslinien, welches wiederum die geringe Druckanwendung bei der Dentinbearbeitung bestätigt.

Die Frässpäne sind durch die Vibration des Instrumentes entstanden. Das Bohren im Dentin ist auf ein geringes Maß zu beschränken, da der Spanabtransport sehr schlecht ist und das Instrument sehr schnell stumpf werden muß, da es nur mit einer erhöhten Schneide arbeitet. Dies ist an den sehr zerrissenen Spänen erkenntlich.

18.) Da beim Bohren kein exakter Scherspan an der überhöhten Schneide entsteht, muß der Druck erhöht werden, um zu größeren Spänen zu gelangen, welches als Nachteil für das Bohren angesehen werden muß.

19.) Bei einigen Fräsversuchen von Hartmetallbohrern auf Elfenbein wurde festgestellt, daß die seitlichen Einrißzacken und die Stauchungslinien im Innern nicht so ausgeprägt waren wie beim Dentin. Dies ist als ein Beweis für eine festere Struktur (mehr anorganische Substanzen) zu werten.

20.) Zwei Größenordnungen bestehen ohne Übergang hart nebeneinander, so daß auch dies (Rückstoßtheorie) als ein Beweis für die festere Struktur angesehen werden muß.

21.) Erkenntnisse bei Fräsversuchen auf Elfenbein sind danach nicht auf Dentin übertragbar.

22.) Das Fräsen mit Normalstahlbohrern auf Dentin bei geringen Drucken von 20, 40 und 80 g ergaben Scherspäne mit den geringsten Querstauchungslinien ("Idealspäne"). Nach geringer Benutzung des Normalstahlbohrers müssen durch das Stumpferwerden die günstigen Ergebnisse ausbleiben.

23.) Beim Bohren mit Normalstahlbohrern auf Dentin mußte der Druck wesentlich erhöht werden. Ein großer Nachteil gegenüber dem Fräsen.

24.) Ebenso mußten beim Bohren mit Hartmetallbohrern auf Schmelz wesentlich höhere Drucke angewendet werden als beim Fräsen.

25.) Bohrversuche mit dem Rosenbohrer Nr. 3 (Spanbrecher) auf Dentin zeigten sehr zerschlissene Brocken, die sicher leichter abtransportiert werden können. Die gleichzeitig entstandenen Frässpäne zeigten keine Veränderungen gegenüber dem Normalrosenbohrer.

26.) Versuche (Fräsen und Bohren) mit dem Drallbohrer erbrachten große, an einer Seite glatte Späne. Auch diese Späne werden sich besser abtransportieren lassen.

27.) Bei beiden Abarten des Rosenbohrers (Spanbrecher und Drallbohrer) muß jedoch damit gerechnet werden, daß ein noch schnelleres Stumpferwerden eintritt als beim normalen Rosenbohrer aus Stahl. Vergleichsversuche wurden nicht durchgeführt. Aus wirtschaftlichen Erwägungen sind auch diese beiden Bohrerarten den Hartmetallbohrern unterlegen und nur auf besondere Fälle zu beschränken.

Die Ergebnisse, die bei dieser Arbeit zutage traten, lassen gewisse Parallelen zu Versuchen in der allgemeinen Technik erkennen, sie stehen zumindest in keinem Widerspruch zu diesen, wenn eine naturwissenschaftlich-mathematische Exaktheit auch nicht durchführbar war.

Da dies eine Laborarbeit war, so sind die Ergebnisse nicht unbedingt auf die praktische Arbeit am Patienten übertragbar, sondern müßten erst durch gleichlaufende Ergebnisse bei der Behandlung des Zahns in seinem Zahnbett (Parodontium) bestätigt werden.

Tabelle der 1. Versuchsreihe

| Nr. des Präp. | Halterung des Schleifers | Umdrehungszahl | Schnittgeschwindigkeit | Schleifzeit in Sekunden | Druck in Gramm | Anzahl der Messungen | Durchschnittsmaß eines Spanes-errechnet - in größter Länge und Breite | kleinster Span | größter Span |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 137 | Airotor-Winkelst.Ka-Vo | etwa 250 000 | 28,79 m/sek. | 1 | 20 | 10 | 1,6 x 3,1 | 0,9 x 2,5 | 1,8 x 3,7 |
| 32 | Kerr-Winkelst. | 80 000 | 43,65 m/sek. | 1 | 20 | 20(in 4 Feldern | 8,0 x14,6<br>7,1 x10,8 | 1 x 2<br>1 x 1 | 17 x67<br>43 x67 |
| 33 | " | 80 000 | 43,65 m/sek. | 0,5 | 20 | 20 " | 5,6 x10,5 | 2 x 2 | 43 x55 |
| 34 | " | 40 000 | 21,99 m/sek. | 1 | 20 | 20 " | 4,0 x 6,8 | 1 x 1 | 18 x37 |
| 35 | " | 40 000 | 21,99 m/sek. | 0,5 | 20 | 20 " | 3,9 x 6,2 | 1 x 1 | 18 x25 |
| 36 | Impr.(mit Reibrad Schnelltrieb) | 40 000 | 21,99 m/sek. | 1 | 20 | 20 " | 3,4 x 5,0 | 1 x 1 | 12 x26 |
| 37 | " | 40 000 | 21,99 m/sek. | 0,5 | 20 | 20 " | 6,5 x13,6 | 1 x 1 | 46 x25 |
| 38 | " | 20 000 | 10,99 m/sek. | 1 | 20 | 20 " | 9,9 x16,4 | 1 x 1 | 17 x36 |
| 39 | " | 20 000 | 10,99 m/sek. | 0,5 | 20 | 20 " | 9,8 x14,7 | 1 x 2 | 32 x58 |
| 40 | Imperator | 10 000 | 5,49 m/sek. | 1 | 20 | 20 " | 23,3 x39,4 | 1 x 1 | 73 x114 |
| 41 | " | 10 000 | 5,49 m/sek. | 0,5 | 20 | 20 " | 10,5 x18,1 | 1 x 2 | 16 x 45 |
| 42 | " | 5 000 | 2,75 m/sek. | 1 | 40 | 20 " | 12,7 x34,8 | 1 x 2 | 37 x340 |
| 43 | " | 5 000 | 2,75 m/sek. | 0,5 | 40 | 20 " | 18,7 x32,7 | 3 x 3 | 62 x138 |
| 44 | " | 5 000 | 2,75 m/sek. | 5 | 40 | 20 " | | | |

Tabelle der 2. Versuchsreihe

| Nr. des Präp. | Halterung des Schleifers | Umdrehungszahl | Schnittgeschwindigkeit | Schleifzeit in Sek. | Druck in Gramm | Anzahl der Messungen | Durchschnittsmaß eines Spanes -errechnet- in größter Länge und Breite | kleinster Span | größter Span |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 45 | Imperator ohne Übers. | 5 000 | 2,75 m/s. | 5 | 40 | 20(in 4 Feldern) | 10,9 x 14,8 | 2 x 3 | 30 x 32 |
| 46 | " | 5 000 | 2,75 m/s. | 0,5 | 40 | 20 " | 11,8 x 17,9 | 1 x 1 | 38 x 51 |
| 47 | " | 5 000 | 2,75 m/s. | 1 | 40 | 20 " | 11,1 x 17,9 | 1 x 1 | 40 x 42 |
| 48 | " | 10 000 | 5,49 m/s. | 0,5 | 20 | 20 insgesamt | 10,3 x 20,1 | 2 x 3 | 25 x 76 |
| 49 | " | 10 000 | 5,49 m/s. | 1 | 20 | 20(in 4 Feldern) | 10,7 x 18,9 | 2 x 2 | 26 x 37 |
| 50 | Imperator mit Übers. | 20 000 | 10,99 m/s. | 0,5 | 20 | 20 " | 12,5 x 26,8 | 3 x 4 | 30 x 70 |
| 51 | " | 20 000 | 10,99 m/s. | 1 | 20 | 20 " | 13,4 x 26,1 | 5 x 7 | 28 x 57 |
| 52 | " | 40 000 | 21,99 m/s. | 0,5 | 20 | 20 " | 8,6 x 16,7 | 2 x 1 | 62 x 17 |
| 53 | " | 40 000 | 21,99 m/s. | 1 | 20 | 20 " | 15,9 x 25,7 | 6 x 7 | 45 x 85 |
| 54 | Kerr | 40 000 | 21,99 m/s. | 0,5 | 20 | 20 " | 21,3 x 32,2 | 4 x 4 | 36 x 58 |
| 55 | " | 40 000 | 21,99 m/s. | 1 | 20 | 20 " | 19.7 x 32,1 | 1 x 2 | 39 x 67 |
| 56 | " | 80 000 | 43,65 m/s. | 0,5 | 20 | 20 " | 14,4 x 25,9 | 2 x 2 | 24 x 45 |
| 57 | " | 80 000 | 43,65 m/s. | 1 | 20 | 20 " | 8,4 x 17,9 | 2 x 3 | 23 x 53 |
| 138 | Airoter | 250 000 | 28,87 m/s. | 1 | 20 | 10 | 5,9 x 10,4 | 3 x 4 | 13 x 20 |

Tabelle der 3. Versuchsreihe

| Nr. des Vers. | Umdrehungszahl | Schnittgeschwindigkeit | Halterung des rotierenden Instrumentes | Druck in Gramm | Größter Span: etwa | Einrisse (Tiefe): | Mittler Span: | Einrisse (Tiefe): |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 74 | 5 000 | 0,3658 m/s. | Imperator | 20 | 18,5 x 2,8 | 2,4 | - | - |
| 75 | 5 000 | 0,365 m/s. | " | 40 | - | - | 14,5 x 5,5 | 4,5 |
| 76 | 5 000 | 0,365 m/s. | " | 80 | 19 x 15,5 | 1,5-2 | - | - |
| 80 | 10 000 | 0,7317 m/s. | " | 80 | 15,5 x 9,5 | 0,6 | - | - |
| 81 | 10 000 | 0,7317 m/s. | " | 40 | 15 x 7 | 0,7 | - | - |
| 82 | 10 000 | 0,7317 m/s. | " | 20 | 21 x 13 | - | 16 x 16 | 0,8 - 2,1 |
| 83 | 20 000 | 1,46 m/s. | Imperator mit Schnelltrieb | 20 | - | - | 11 x 5 | 0,3 |
| 84 | 20 000 | 1,46 m/s. | " | 40 | - | - | 12 x 5,5 | 0,6 |
| 85 | 20 000 | 1,46 m/s. | " | 80 | 31 x 2,8 | 7,5 - 9 | - | - |
| 86 | 40 000 | 2,93 m/s. | " | 20 | 21 x 14 | 0,2 - 1,2 | - | - |
| 87 | 40 000 | 2,93 m/s. | " | 40 | 32 x 8 | 2,2 | - | - |
| 88 | 40 000 | 2,93 m/s. | " | 80 | 39 x 6,5 | 7 (0,6) | - | - |
| 89 | 40 000 | 2,93 m/s. | Kerr | 20 | - | - | 7 x 5,5 | 0,5 |
| 90 | 40 000 | 2,93 m/s. | " | 40 | - | - | 7,5 x 5,5 | 0,9 |
| 91 | 40 000 | 2,93 m/s. | " | 80 | - | - | 11 x 2,5 | 1,5 - 2 |
| 92 | 80 000 | 5,85 m/s. | " | 20 | 27 x 19 | 2,5 | - | - |
| 93 | 80 000 | 5,85 m/s. | " | 40 | 32,5 x 4 | 3,5 | - | - |
| 94 | 80 000 | 5,85 m/s. | " | 80 | 36 x 17 | 4,5 | - | - |
| 134 Ia | 250 000 | 18,29 m/s. | Airotor | 20 | 2,8 x 2,1 | | | |
| 134 Ib | 250 000 | 18,29 m/s. | " | 20 | | | | |

Tabelle der 4. Versuchsreihe.

| lfd. Nr. | Bezeichnung der verwendeten Instrumente | Umdrehungszahl | Schnittgeschwindigkeit | Präszeit in Sek. | Druck in Gramm | Anzahl der Messung. | Durchschnittsmaß eines Spanes -errechnet- in größter Länge und Breite | kleinster Span | größter Span |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 99 | Imperator | 5 000 | 0,3658 m/s. | 5 | 160 | 20(in 4 Feldern | 12,3 x 8,5 | 1 x 1 | 178 x 113<br>82 x 48 |
| 100 | " | 10 000 | 0,7317 m/s. | 5 | 160 | 20 " | 27 x 17,5 | 2 x 1 | 85 x 72 |
| 101 | Imperator mit Schnellstr. | 20 000 | 1,46 m/s. | 5 | 160 | 20 " | 12,2 x 6,2 | 1 x 1 | 43 x 10 |
| 102 | " | 40 000 | 2,93 m/s. | 5 | 160 | 2 x 10 | 3,0 x 4,5<br>49,2 x 20,5 | - | - |
| 103 | Herr | 40 000 | 2,93 m/s. | 2,5 | 160 | " | 8,0 x 4,4<br>35,7 x 17,9 | - | - |
| 104 | " | 40 000 | 2,93 m/s. | 5 | 160 | " | 7,2 x 4,8<br>30,7 x 14,0 | - | - |
| 105 | " | 80 000 | 5,85 m/s. | 2,5 | 160 | " | 7,2 x 3,8<br>37,3 x 15,7 | - | - |
| 106 | Imperator | 250 000 | 18,29 m/s. | 1 | 40 | | 10,8 x 6,8 | | |

## 5. Versuchsreihe

| Nummer des Iraparats | Halterung des rotierenden Instrumentes | Umdrehungs-zahl | Normal-Geschwin-digkeit | Druck in Gramm | Bohrzeit in Sekunden | [illegible] | [illegible] | [illegible] | größter [illegible] |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 106 | Imperator mit HMB Gr.3 | 5 000 | 0,3658 m/s. | 20 | 5 | 20 (i.4 [illegible]) | 22,4 x 14,7 | 3 x 3 | 54 x 43 |
| 107 | " | 5 000 | 0,3658 m/s. | 40 | 5 | " | 20,4 x 12,4 | 2 x 2 | 77 x 32 |
| 108 | " | 5 000 | 0,3658 m/s. | 80 | 5 | " | 20,9 x 12 | 2 x 3 | 42 x 24 |
| 109 | " | 10 000 | 0,7317 m/s. | 20 | 5 | 20<br>Insgesamt | 15,5 x [illegible]<br>132 x 38 | 2 x 2<br>105 x30 | 35 x 29<br>175 x 40 |
| 110 | " | 10 000 | 0,7317 m/s. | 40 | 5 | 20 (i.4 Feldern) | 12,5 x 6,4 | 2 x 2 | 29 x 12 |
| 111 | " | 10 000 | 0,7317 m/s. | 80 | 5 | " | 21,4 x 8,4<br>20,8 x 43,8 | 3 x 2<br>65 x30 | 57 x 18<br>90 x 60 |
| 112 | Imperator m.Schnelltr. u.HLB Gr.3 | 20 000 | 1,46 m/s. | 20 | 5 | 20<br>Insgesamt | 33,2 x 15,3 | 3 x 3 | 70 x 32 |
| 113 | " | 20 000 | 1,46 m/s. | 40 | 5 | 2 x 10 | 54,6 x 20<br>11 x 62 | 24 x16<br>4 x 3 | 74 x 22<br>24 x 13 |
| 114 | " | 20 000 | 1,46 m/s. | 80 | 5 | 7 u. 4 | 16,7 x 8,2<br>133,8 x 65 | 4 x 4<br>65 x40 | 35 x 11<br>210 x 85 |
| 115 | " | 40 000 | 2,93 m/s. | 20 | 5 | 20 (i.4 Feldern) | 43,5 x 15,6 | 4 x 3 | 127 x 19 |
| 116 | " | 40 000 | 2,93 m/s. | 40 | 5 | 2 x 10 | 13,5 x 8<br>96,8 x 26,2 | 4 x 3<br>48 x30 | 22 x 10<br>185 x 40 |
| 117 | " | 40 000 | 2,93 m/s. | 80 | 5 | 20 (i.4 Feldern) | 51,9 x 23,6 | 8 x 7 | 170 x 25 |
| 118 | Kerr m.HLB Gr.3 | 40 000 | 2,93 m/s. | 20 | 5 | 3 | 49,7 x 24,3 | 42 x 8 | 64 x 45 |
| 119 | " | 40 000 | 2,93 m/s. | 40 | 5 | 1 | - | - | 180 x 70 |
| 120 | " | 40 000 | 2,93 m/s. | 80 | 5 | 5 u. 10 | 208 x 51,6<br>148 x 8,9 | 130 x30<br>7 x 7 | 270 x 70<br>31 x 16 |
| 122 | " | 80 000 | 5,85 m/s. | 40 | 5 | 5 | 30,6 x 21,6 | 23 x18 | 45 x 22 |
| 123 | " | 80 000 | 5,85 m/s. | 80 | 5 | 2<br>4<br>5 | 165 x 55<br>55 x 3,8<br>21,2 x 14,4 | 160 x20<br>35 x 4<br>14 x 8 | 170 x 90<br>70 x 3<br>29 x 20 |
| 135 | Airotor mit HMB Gr.3 | 250 000 | 18,29 m/s. | 20 | 1 | 10 | 14,8 x 6,4 | 7 x 4 | 29 x 13 |

Tabelle der 6. Versuchsreihe

| Nr. des Präp. | Halterung des rotierenden Instrumentes | Umdrehungszahl (U/min) | Schnittgeschwindigkeit | Fräszeit (sek.) | Druck (Vorschubkraft) in Gram |
|---|---|---|---|---|---|
| 124 | Imperator | 20 000 | 1,46 m/s. | 5 | 80 |
| 125 | " | 40 000 | 2,93 m/s. | 5 | 80 |
| 126 | Kerr | 80 000 | 5,85 m/s. | 5 | 40 |
| 127 | " | 80 000 | 5,85 m/s. | 2,5 | 80 |
| 136/I | Airotor | etwa 250 000 | 18,29 m/s. | 1 | 20 |

Literaturverzeichnis


| | |
|---|---|
| 1. A d l e r, Fritz | Untersuchungen über Zerspanungsleistung zahnärztlicher umlaufender Hartmetallwerkzeuge. Diss. 1960, Berlin. |
| 2. A d o l p h, Wolfgang | Untersuchungen über die Oberflächenbeschaffenheit nieder-, hoch-und höchsttourig bearbeiteter Kavitätenwände. D.Z.Z. 1959, Heft 14, Seite 949. |
| 3. A d o l p h, Wolfgang | Elektronenmikroskopische Untersuchungen an maschinell bearbeiteten Dentinoberflächen von Zähnen mit lebender Pulpa. D.Z.Z. 1958, Heft 11, Seite 635. |
| 4. A d o l p h, Wolfgang | Elektronenmikroskopische Untersuchungen an Dentinoberflächen, die bei Anwesenheit von Wasser, Preßluft und Speichel maschinell bearbeitet wurden. D.Z.). 1958, Heft 13, Seite 759 |
| 5. B o n s a c k, Charles Th. | 1.) Deutscher Zahnärztekalender 1955, Das Bohren<br>2.) Deutscher Zahnärztekalender 1956, Das Schleifen. |
| 6. D i c k o r e, Gert | Strahl-Läppen, "Das Industrieblatt 1956" Schriftenreihe Feinbearbeitung. Deutsche Fachzeitschriften und Fachbuchverlag GmbH Stuttgart. |
| 7. D ö h n e, W. | Zur Psychologie und Psychopathologie von Schmerzen. D.Z.Z. 1958 Heft 7, Seite 364<br>Experimentelle Vergleichsversuche mit den Schleifkörpern. |
| 8. D r a c h e, Willy | Carborund, Siliciumkarbid und Diamant auf Schleifwirkung, Abnutzung und Wirtschaftlichkeit Diss. 1936, Köln. |
| 9. E b b e k e, U. | Physiologie und Psychologie des Schmerzes. Nervenarzt 24, 1953, Seite 354 (zitiert von Döhne in Nr. 7). |
| 10. E i c h n e r, Karl | Spanungsvorgänge in Zeitraffung an Zahnhartsubstanzen. Wiss. Film, 1958, Berlin. |

11. E i c h n e r, Karl — Schleifen und Bohren in der konservierenden und prothetischen Zahnheilkunde. Ein Überblick über neue Wege und Methoden.Z.R. Heft 9, 5.Mai 1957.

12. F a b e r, Fritz — Entgegnung auf die Arbeit von Walkhoff, D.M.-Schrift für Zahnheilkunde 1950.

13. F r i e d e b e r g, Hermann — Die Untersuchung der Schmelz Dentingrenze mit dem Opakilluminator, D.M.Z.1922,Seite 57.

14. G ä r t n e r, Dietrich — Vergleichende Untersuchungen zum Bohren und Schleifen mit höchsten Drehzahlen (Borden-Airotor). Diss.1960,Berlin.

15. G o t t w e i h und R e i c h e l, zitiert von Krekeler s.Nr.23 dieses Literaturverzeichnisses.

16. H a r t l m a i e r,K.M. — Im Zeichen der Gediegenheit und Stabilisierung. Z.M.Nr.12, 1959, Seite 463.

17. H e g e m a n n, Hans — Über das Beschleifen der Zähne unter bes. Berücksichtigung neuartiger Schleifkörper Diss. Düsseldorf.

18. H e r r m a n n, Martin — Bohren und Schleifen mit hohen Tourenzahlen. Zeitschrift zahnärztliche Welt und zahnärztliche Reform, 1958, Seite 39.

19. H o l z a p f e l,Attalus — Die Arbeitsleistung der Schleifinstrumente. (III.Versuchsergebnisse mit dem Diamant als Schleifstoff) "Zahntechnik", Heft 4, 10.Januar 1949.

20. H u d s o n, H. — Cutting - Characteristics of Dental - Burs as shown by High-Speed Photography.J.D.Res. 33:696 Oct. 1954.

21. H u e t, E. — La technique du Meulage. Dent. Belge 21 (1930)

22. K l e i n s c h m i d t, B. — Schleifindustriekalender 1950 Vulkan-Verlag Essen.

23. K r e k e l e r, Karl — Die Zerspanbarkeit der metallischen und nichtmetallischen Werkstoffe.Springer-Verlag 1951.

24. K r o n e n b e r g,Max — Grundzüge der Zerspanungslehre Julius Springer-Verlag 1927.

25. K r u e l, Philipp — Grundlegende Erkenntnisse über das Schleifen von Hartstoffen. Verlag Vieweg,Braunschweig 1933.

26. L u e k e n, B. — Physiologie 1949, Verlag W. Saenger Berlin

27. O n t r u p, Dieter — Wirkung rotierender Instrumente auf den Schmelz menschlicher Zähne. Diss.1958,Berlin.

28. P a l i t z s c h und H e l m e r d i g — Temperaturverhältnisse an den Schneiden spanabhebender Werkzeuge. V.D.I. - Zeitschrift Bd. 87 Nr.43/44, 30.Okt.1943

29. R y s c h - K o w i t s c h, zitiert von Krekeler, s. dieses Literaturverzeichnis Nr. 23.

30. S a l z m a n n, Werner — Über den Wirkungsgrad der Rundbohrer auf Zahnschmelz unter Berücksichtigung von Druck und Tourenzahl der Bohrmaschine. Vierteljahreszeitschrift für Zahnheilkunde, H.Meusser Verlag 1931.

31. S ä n g e r, Gerd — Experimentelle Untersuchungen über die Streuung der Schleifleistung zahnärztlicher Diamantschleifkörper. Diss. 1955, Mainz.

32. S c h a l l b r o c h, Heinrich und Peter Ritter von D o d e r e r — Zerspanbarkeitsuntersuchungen an geschichteten Kunstharz-Preßstoffen. V.D.I.Verlag, Berlin 1943.

33. S c h u l t z, J.H. — Seelische Krankenbehandlung. Berlin, 1958.

34. S c h u l t z, J.H. — Grundfragen der Neurosenlehre. Berlin, 1955.

35. S t r o h, Werner — Schleifleistung zahnärztlicher Diamanten bei hohen und höchsten Umdrehungen. Diss.1959, Berlin.

36. V a n d e W a a, C.D. — "High speed rotary" instruments in operative dentistry: review of thw literature. J.A.D.A.,53:298 Sept.1956

37. W a l k h o f f, Otto — Ein Beitrag zur Kenntnis der Leistungen der Mikrophotographie mit sichtbarem und ultraviolettem Licht bei histologischen Untersuchungen, insbesondere des Schmelzes. D.M.-Schrift für Zahnh.1930, Seite 1201.

38. W a l l i c h s zitiert von Krekeler, s. dieses Literaturverzeichnis Nr. 23

39. W a l s h, J.P. und S y m m o n s, H.F.
Vibration perception in teeth during cavity preparation, New Zealand D.J. 44:39,Jan. 1948.

40. M e i s i n g e r I n f o r m a t i o n e n,
HM-Bohrer Entwicklung, sachgemäße Anwendung und Vorzüge des Meisinger Hartmetallbohrers. Nr. 1, 15. März 1955,Düsseldorf.

Es ist mir eine angenehme Pflicht,
Herrn Prof. Dr. Dr. Ewald H a r n d t für die Überlassung des Themas und für themabezügliche Hinweise meinen Dank zu sagen.

Herrn Priv.-Doz. Dr. Karl E i c h n e r danke ich für kritische Anregungen und vielfache Beratungen.

Den Dentalfirmen, die an gegebener Stelle der Arbeit erwähnt wurden, gebührt Dank für die Überlassung der Versuchsgeräte, besonders der Firma D r e n d e l u. Z w e i l i n g für die Herstellung eines diamantierten Spezialschleifkörpers für das amerikanische Kerr-Winkelstück.

# L e b e n s l a u f

Am 7.6.1919 wurde ich in Rastenburg i.Pr. als Sohn des Schlossermeisters Wilhelm Bohlmann und seiner Ehefrau Berta, geb. Krafzik, geboren. Nach Grundschul-und Oberschulbesuch legte ich am dortigen Oberlyzeum 1938 die Reifeprüfung ab. Kurze Tätigkeit als Hauslehrer, Arbeitsdienstpflicht und Einberufung zum Wehrdienst bei Kriegsbeginn, Verwundung 1943 (50%), Gefangenschaft bis zum Februar 1946 waren die nächsten Abschnitte meines Lebens. Nach einem längeren Krankenhausaufenthalt mit einer Lungenoperation als Nachwirkung der Kriegszeit und im Anschluß an eine Tätigkeit als Lehrer, begann ich im Wintersemester 1951 das Studium der Zahnheilkunde an der Freien Universität Berlin. Im März 1950 hatte ich die Zahnärztin Dr.Gerda Stabenow aus Berlin geheiratet. Am 3. April 1957 erhielt ich die Approbation als Zahnarzt und bin seither in der gemeinsamen Praxis mit meiner Frau tätig.